

FACULTÉ DE MÉDECINE DE PARIS

THÈSE

pour le

DOCTORAT EN MÉDECINE
(Diplôme d'État)

par

Claude NÈGRE

EXTERNE DES HOPITAUX DE PARIS

Né le 19 Mai 1930, à Paris

Présentée et soutenue publiquement le 3 Mars 1960

LA FATIGUE EN RÉGIONS POLAIRES

Aspects cliniques, biologiques et psychologiques.

Étude systématique d'un groupe de sujets
lors de l'Expédition Glaciologique Internationale au Groenland.

Président : M. L. BINET, Professeur

1960

FACULTÉ DE MÉDECINE DE PARIS

THÈSE

pour le

DOCTORAT EN MÉDECINE
(Diplôme D'État)

par

Claude NÈGRE

EXTERNE DES HOPITAUX DE PARIS

Né le 19 Mai 1930, à Paris

Présentée et soutenue publiquement le 3 Mars 1960

LA FATIGUE EN RÉGIONS POLAIRES

Aspects cliniques, biologiques et psychologiques.

Étude systématique d'un groupe de sujets
lors de l'Expédition Glaciologique Internationale au Groenland.

Président : M. L. BINET, Professeur

Digitized by the Internet Archive
in 2026



PROFESSEURS HONORAIRES :

MM. AUBIN (A.), BENARD (H.), BROcq (P.), BULLIARD (H.),
CADENAT (F.), CHABROL (E.), CHAMPY (C.), CHEVALLIER (P.),
DEBRE (R.), DONZELOT (E.), GASTINEL (P.), GUILLAIN (G.),
HALPHEN (E.), HARVIER (P.), HAZARD (R.), HEUYER (G.), LAN-
TUEJOUL (P.), LAROCHE (G.), LAUBRY (C.), LEVY-SOLAL (E.),
LHERMITTE (J.), LIAN (C.), LOEPER (M.), MARION (G.), MATHIEU (P.),
MOCQUOT (P.), MONDOR (H.), MONOD (R.), MOREAU (R.), MULON (P.),
OLIVIER (E.), RICHTER (C.), STROHL (A.), TANON (L.), VELTER (E.).

Doyen Léon BINET, Membre de l'Institut.

Assesseur Jean VERNE.

I. — PROFESSEURS

MM.

Anatomie	CORDIER (G.)
Anatomie (chaire à titre personnel)	DELMAS (A.)
Anatomie pathologique	DELARUE (J.)
Anesthésiologie	BAUMANN (J.)
Bactériologie	FASQUELLE (R.)
Biochimie médicale	JAYLE (M. F.)
Biologie appliquée à l'Education physique et aux Sports	CHAILLEY-BERT (P.)
Biologie médicale	FAUVERT (R.)
Cancérologie médicale et sociale	BERNARD (J.)
Clinique carcinologique (Inst. G. Roussy)	REDON (H.)
Clinique cardiologique	MOUQUIN (M.)
	Broussais
	Beaujon
	Cochin
Cliniques chirurgicales	Hôtel-Dieu
	Saint-Antoine
	Salpêtrière
Clinique de chirurgie infantile et orthopédique (Enfants-Malades)	MEGNAUX (G.)
Clinique chirurgicale orthopédique et réparatrice (Cochin)	GOSSET (J.)
Clinique de chirurgie cardio-vasculaire (Broussais)	MOULONGUET (P.)
Clinique de chirurgie pleuro-pulmonaire (Laënnec)	FEVRE (M.)
Clinique endocrinologique (Pitié)	MERLE D'AUBIGNE (R.)
Clinique génétique médicale (Enfants-Malades)	GAUDART D'ALLAINES (F. de)
Clinique gynécologique (Broca)	MATHEY (J.)
Clinique des maladies cutanées et syphilitiques (Saint-Louis)	DECOURT (J.)
Clinique des maladies des enfants (Enfants-Malades)	LAMY (M.)
Clinique des maladies infectieuses (Claude-Bernard)	FUNCK-BRENTANO (P.)
Clinique des maladies mentales et de l'encéphale (Sainte-Anne)	DEGOS (R.)
	CATHALA (J.)
	MOLLARET (P.)
	DELAY (J.)

Clinique des maladies métaboliques (Necker)	HAMBURGER (J.)
Clinique des maladies du sang (Broussais) ..	MARCHAL (G.)
Clinique des maladies du système nerveux (Salpêtrière)	ALAJOUANINE (T.)
	GENNES (L. de)
Cliniques médicales ..	JUSTIN-BESANÇON (L.)
	BARIETY (M.)
	SOULIE (P.)
	DREYFUS (G.)
	KOURILSKY (R.)
Clinique médicale d'hydrologie thérapeutique et climatologie (Bichat)	DEBRAY (C.)
Clinique médicale propédeutique	PASTEUR VALLERY-RADOT (L.)
Clinique médico-sociale du diabète sucré et des maladies de la nutrition (Hôtel-Dieu) ..	DEROT (M.)
Clinique de neuro-chirurgie (Pitié)	PETIT-DUTAILLIS (D.)
	LACOMME (M.)
Cliniques obstétricales ..	N...
	VARANGOT (J.)
	RENARD (G.)
Clinique ophtalmologique (Hôtel-Dieu)	AUBRY (M.)
Clinique oto-rhino-laryngologique (Lariboisière)	MARIE (J.)
Clinique de pédiatrie sociale (Enfants-Malades)	BERNARD (E.)
Clinique de pneumo-phtisiologie (Laënnec) ..	MICHAUX (L.)
Clinique psychiatrique infantile (Salpêtrière) ..	LELONG (M.)
Clinique de puériculture (St-Vincent-de-Paul) ..	
Clinique de rhumatologie médicale et sociale (Cochin)	COSTE (F.)
Clinique stomatologique (Pitié)	DECHAUME (M.)
Clinique thérapeutique chirurgicale (Vaugirard)	SENEQUE (J.)
Clinique thérapeutique médicale (St-Antoine)	LEMAIRE (A.)
Clinique urologique (Cochin)	FEY (B.)
Electrophysiologie médicale (chaire à titre personnel)	DJOURNO (A.)
Embryologie	GIROUD (A.)
Histoire de la médecine et de la chirurgie ..	N...
Histologie	VERNE (J.)
Hygiène des collectivités (chaire à titre personnel)	DEPARIS (M.)
Hygiène et clinique de la première enfance (Trousseau)	TURPIN (R.)
Hygiène et médecine préventive	JOANNON (P.)
Médecine du Travail	DESOILLE (H.)
Médecine légale	PIEDELIEVRE (R.)
Parasitologie	GALLIARD (H.)
Pathologie chirurgicale	COUVELAIRE (R.)
Pathologie exotique	LAVIER (G.)
Pathologie expérimentale et comparée	LENEGRE (J.)
Pathologie humorale et immunologie expérimentale (chaire à titre personnel)	MERKLEN (F.-P.)
Pathologie médicale	N...
Pathologie et thérapeutique générales	GARCIN (R.)
Pharmacologie et matière médicale	CHEYMOL (J.)
Physiologie	BINET (L.)
Physiologie (chaire à titre personnel)	BARGETON (D.)
Physique médicale	DOGNON (A.)
Radiologie médicale	DESGREZ (H.)
Technique chirurgicale	PATEL (J.)
Thérapeutique	BROUET (G.)

II. — PROFESSEURS SANS CHAIRE, PROFESSEURS AGREGES, ET MAITRES DE CONFERENCES - AGREGES

MM.

Anatomie	{ CABROL (C.) COUINAUD (C.) OLIVIER (G.) GAUTHIER - VILLARS (Mlle P.), P ^r s. ch.
Anatomie pathologique	{ BUSSER (F.) GOUYGOU (Ch.) ORCEL (L.) PAILLAS (J.)
Anesthésiologie	{ VOURC'H (G.) NEVOT (A.), P ^r s. ch.
Bactériologie	{ BARBIER (P.) CHRISTOL (D.) TOURNIER (P.)
Biochimie médicale	{ DESGREZ (P.), P ^r s. ch. POLONOVSKY (J.), M ^e conf.
Biologie médicale	{ SCHAPIRA (G.), M ^e conf. BOURLIERE (F.), M ^e conf.
Carcinologie	{ DENOIX (P.) MATHE (G.)
Dermato-Syphiligraphie	DUPERRAT (B.)
Electro-Radiologie	LEDoux-LEBARD (G.)
Embryologie	TUCHMANN-DUPLESSIS (H.)
Hématologie	{ BILSKI-PASQUIER (G.) DAUSSET (J.) COUJARD (R.), P ^r s. ch.
Histologie	{ MAROIS (M.) RACADOT (J.)
Hydrologie	CORNET (A.)
Hygiène	{ BOYER (J.), P ^r s. ch. CORRE-HURST (Mme L.)
Maladies infectieuses	{ BASTIN (R.) DUPONT (V.)
Médecine légale	{ DEROBERT (L.), P ^r s. ch. HADENGUE (A.)
Médecine du travail	{ FOURNIER (E.) GUENIOT (M.)
Neuro-chirurgie	ALBAHARY (C.)
Neurologie	{ DAVID (M.) LHERMITTE (F.) GRANJON (A.)
Obstétrique	{ HERVET (E.) LE LORIER (G.) MORIN (P.)
Ophthalmologie	{ MUSSET (R.) ROBEY (M.) THOYER-ROZAT (J.)
Orthopédie	{ BREGEAT (P.) SARAUX (H.) JUDET (R.) RAMADIER (J.)

Oto-rhino-laryngologie	DEBAIN (J.)
Parasitologie	BRUMPT (L. C.), P ^r s. ch.
	CHABAUD (A.)
	BARCAT (J.)
	BINET (J.-P.)
	CAUCHOIX (J.)
	CHATELIN (C.-L.)
	DUBOST (Ch.)
	DUBOST (Cl.)
	FAUREL (J.)
Pathologie chirurgicale	FLABEAU (F.)
	GERMAIN (A.)
	LAURENCE (G.), agr. per.
	LORTAT-JACOB (J.-L.)
	LOYGUE (J.)
	MERCADIER
	PERROTIN (J.)
	ROBERT (H.)
Pathologie exotique	THOMERET (G.)
	SCHNEIDER (J.)
	CROSNIER (J.)
Pathologie expérimentale	HARTMANN (L.)
	LOEPER (J.)
	MAURICE (J.)
	PLAS (F.)
	RICHET (G.)
	AUSSANNAIRE (M.)
	BOUR (H.)
	BOUVIER (J.)
	BOUVRAIN (Y.)
	BRICAIRE (H.)
	BRISAUD (H.)
	BROCARD (H.)
	BUGE (A.)
Pathologie médicale	CASTAIGNE (P.), M ^e conf.
	CATINAT (J.)
	CONTAMIN (F.)
	COURY (C.)
	FREZAL (J.)
	HOUSSET (E.)
	LAROCHE (Cl.)
	LESOBRE (R.)
	MACREZ (C.)
	NICK (J.)
	PEQUIGNOT (H.), M ^e conf.
	ROYER (P.)
	WOLFROMM (R.)
Pédiatrie-Puériculture	JOSEPH (R.)
	MANDE (R.)
	MOZZICONACCI (P.)
	POLONOVSKY (C.)
	ROSSIER (A.)
Pharmacologie	LEVY (Mlle J.), P ^r s. ch.
	BOISSIER (J.)
	LECHAT (P.)
Physiologie	PARROT (J.), P ^r s. ch.
	DEJOURS (P.)
Physique médicale	GOUGEROT (L.), M ^e conf.
Pneumo-phtisiologie	KREIS (B.)
	PICHOT (P.)

Psychiatrie infantile	DUCHE (D.)
Rhumatologie	DELBARRE (F.)
Stomatologie	{ CERNEA (P.)
	{ CHAPUT (Mme A.), M ^e c. agr.
	{ GRELLET (M.)
Thérapeutique	{ CHASSAGNE (P.)
	{ LAMOTTE (M.)
Urologie	QUENU (L.)

III. — PROFESSEURS SANS CHAIRE ET AGREGES CHARGES DE COURS DE CLINIQUE ANNEXE A TITRE PERMANENT

	MM.
Clinique chirurgicale	{ ABOULKER (P.)
	{ AMELINE (A.)
	{ HUGIER (J.)
	{ LEGER (L.)
	{ OLIVIER (C.)
	{ PADOVANI (P.)
	{ POILLEUX (F.)
	{ ROUX (M.)
	{ VERNE (J.-M.)
Clinique médicale	{ HAGUENEAU (J.), P ^r s. ch.
	{ BOUDIN (G.)
	{ CONTE (M.)
	{ DOMART (A.)
	{ MILLIEZ (P.)
	{ PERRAULT (M.)
	{ RAMBERT (P.)
	{ THIEFFRY (S.)
	{ TURIAF (J.)
Clinique neuro-rhumatologique	SEZE (S. de)
Clinique obstétricale	{ GRASSET (J.)
	{ LEPAGE (F.)
	{ MAYER (M.)
	{ MERGER (R.)
	{ RAVINA (J.)
Clinique ophtalmologique	{ DESVIGNES (P.)
	{ OFFRET (G.)
Clinique oto-rhino-laryngologique	MADURO (R.)
Clinique pédiatrique et puériculture ...	LAPLANE (R.)
Clinique psychiatrique	BARUK (H.)
Clinique urologique	KUSS (R.)

IV. — PROFESSEURS DETACHES DANS LES UNIVERSITES ETRANGERES

Bactériologie	HAUDUROY (P.), P ^r s. ch.
Biochimie médicale	ETTORI (J.), P ^r à t. pers.
Pathologie chirurgicale	RUDDLER (J.), P ^r s. ch.

Secrétaire général de la Faculté	M. LENA (J.)
Secrétaires	{ Mme BEURLAND (H.) Mlle CHAINTREUIL (G.) Mlle HURE (A.)
Conservateur, chargé de la direction de la Bibliothèque	M. le Docteur HAHN (A.)
Conservateurs	{ Mlles DUMAITRE (P.) GOICHON (A. M.) Mme CONTET (J.)
Bibliothécaires	{ Mlles LAURENT (H.) LE NOIR (G.) QUIEVREUX (E.)

Par délibération en date du 9 décembre 1798, l'Ecole a arrêté que les opinions émises dans les dissertations qui lui seront présentées doivent être considérées comme propres à leurs auteurs et qu'elle n'entend leur donner aucune approbation ni improbation.

A MES PARENTS

A TOUS CEUX QUI ME SONT CHERS

A CEUX QUI M'HONORENT DE LEUR AMITIE

A NOTRE PRESIDENT DE THESE,
MONSIEUR LE PROFESSEUR LÉON BINET

Doyen de la Faculté de Médecine
Membre de l'Institut

*Qui m'a fait le grand honneur d'accepter la
présidence de cette thèse.*

*Respectueux témoignage de ma reconnaissance
et de ma profonde admiration.*

A MONSIEUR LE PROFESSEUR PAROT,

Chevalier de la Légion d'honneur

*Qui a bien voulu m'honorer de ses précieux
conseils.*

*Qu'il veuille trouver ici l'expression de ma
respectueuse reconnaissance.*

A MON MAITRE LE DOCTEUR R. CLAISSE

Médecin des Hôpitaux,

Chef du Service de Médecine de l'Hôpital Raymond-Poincaré

*En témoignage de ma profonde gratitude et de
mon fidèle attachement.*

A MES MAITRES DANS LES HOPITAUX :

MONSIEUR LE PROFESSEUR MENEGAUX †

MONSIEUR LE DOCTEUR SALET

MONSIEUR LE PROFESSEUR CATHALA

MONSIEUR LE DOCTEUR WEISSENBACH

MADAME LE DOCTEUR BERTRAND-FONTAINE

MONSIEUR LE PROFESSEUR M. LAMY

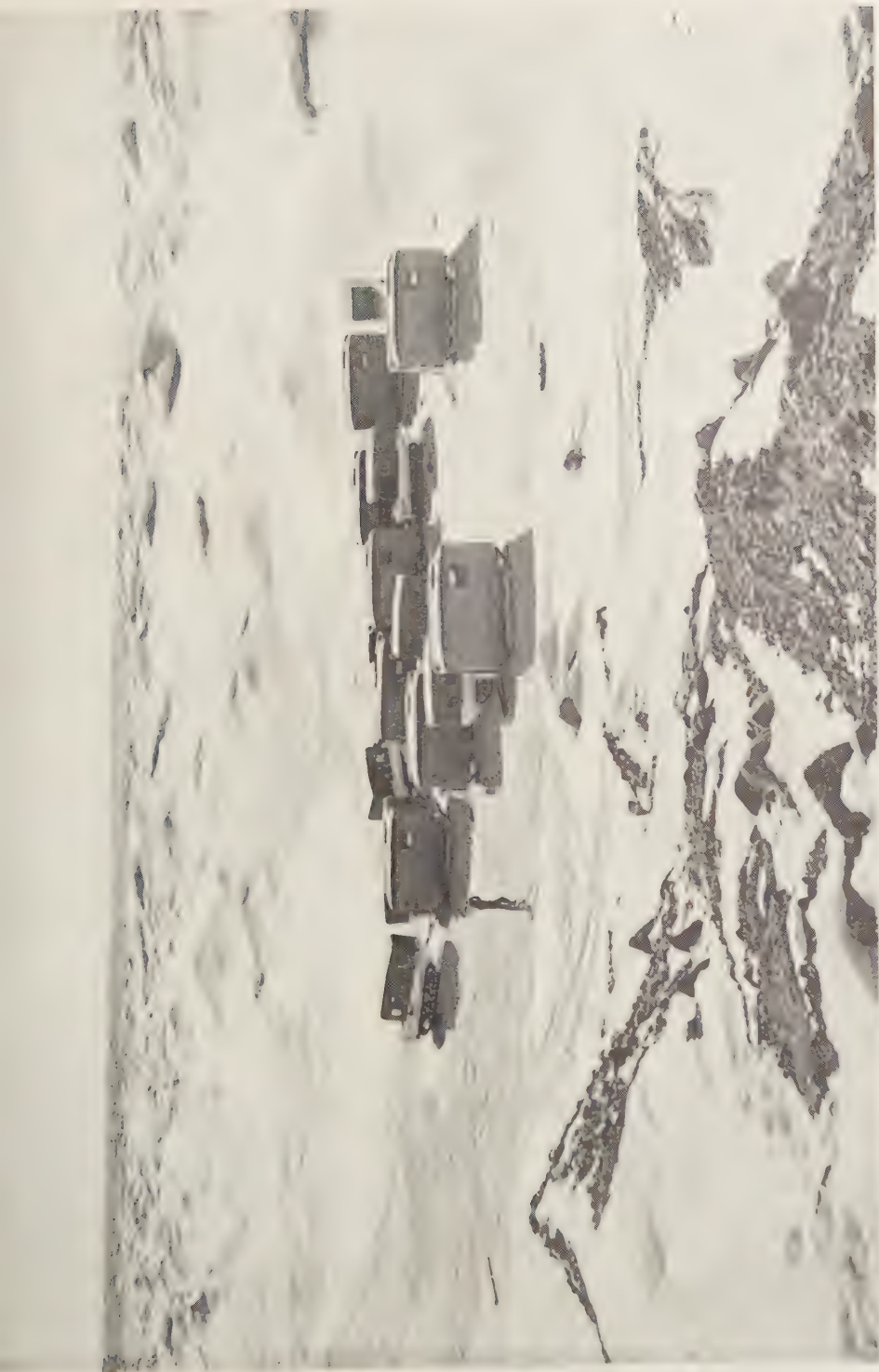
MONSIEUR LE DOCTEUR AZERAD

A Paul-Emile VICTOR.

Au Docteur Jean RIVOLIER.

Au Docteur H.-G. de SYPIORSKI.

*Et à tous mes camarades d'expédition
grâce auxquels j'ai pu réaliser ce travail.*



Pl. I. — Le convoi sur le chemin de l'Indlandsis.



Pl. II. — Mesure de l'excitabilité neuro-musculaire.

INTRODUCTION

Le problème de l'acclimatation humaine en régions polaires n'appartient pas au passé, mais plus que jamais à l'avenir.

Le survol régulier du Groenland par des longs courriers aériens, la traversée sous-marine du Pôle Nord, l'existence d'une station française en Terre Adélie, ainsi que la permanence de bases russes et américaines au Pôle Sud, enfin l'incertitude des lendemains militaires redonnent à ce problème une constante actualité.

Actualité qui dépasse largement le cadre des régions polaires proprement dites, pour intéresser toutes les parties du globe habitées et qui présentent des conditions climatiques similaires.

Ici encore, le pays polaire sera un terrain d'étude, un champ d'expérience permettant d'isoler avec une certaine pureté les différentes données d'un problème médico-physiologique, applicable par la suite à bien d'autres contrées.

Qu'on se souvienne que 50 millions d'habitants vivent à plus de 2 000 m d'altitude; et que, pour ne parler que du froid, celui-ci causa 25 % de pertes dans les troupes américaines en Corée.

Froid, Altitude : il convient tout d'abord de préciser le cadre de l'étude envisagée.

Le martyrologue des explorations polaires ne compte plus les récits de morts d'explorateurs, qui, à la suite d'une longue marche aveugle, sont morts d'épuisement, parfois sur les lieux mêmes du dépôt qu'ils venaient enfin d'atteindre.

L'étiologie de ces épuisements reste sans mystère, et paraît résulter de 3 facteurs précis et bien connus :

- le refroidissement,
- l'inanition,

— l'effort physique, non compensé,
chacun de ces facteurs aggravant l'autre.

Dans les conditions de vie polaire actuelle, et au cours des expéditions modernes, ces morts par épuisement sont devenus rarissimes, conséquences brutales d'un événement d'exception : incendie de véhicules, ou de bases; individus égarés, etc.

Au cours des dernières années, ainsi que le remarque J. Sapin-Jaloustre, les seules pertes éprouvées en régions polaires ont été de causes violentes et dramatiques.

Si les raids polaires de jadis posaient un problème presque constant de survie, ceux d'aujourd'hui posent toujours un problème, mais de vie, une vie que l'on s'efforce de maintenir dans des conditions de plus en plus normales et physiologiques.

Ainsi, à l'opposé de ces formes d'épuisement, ultime terme de la fatigue organo-fonctionnelle, devenues exceptionnelles de nos jours, va se poser le problème de la fatigue chronique. Cette fatigue est la résultante complexe d'une multitude de facteurs climatiques, physiques et psychiques dont ni notre connaissance actuelle des problèmes du froid, ni le perfectionnement constant de techniques de protection ne sont parvenus à éliminer totalement les effets. Ainsi, un groupe d'hommes d'âge moyen, en excellente santé, nourris selon les derniers principes de l'alimentation au froid, vêtus rationnellement contre les intempéries, vivant à une altitude modérée, exposés à un froid d'intensité moyenne, jouissant d'un repos convenable, présentera néanmoins au bout de 3 à 5 mois des signes de fatigue chronique qu'objectiveront divers tests cliniques et paracliniques.

On pourrait appeler cette fatigue « *Fatigue polaire* » tant elle se singularise par l'intrication d'un certain nombre de causes, d'apparence minime et toutes propres aux conditions de la vie polaire. L'intérêt de son étude n'est pas seulement théorique, il est également pratique devant la multiplication du nombre de sujets appelés à vivre en région polaire, ainsi que la nécessité d'obtenir de ces sujets un rendement et une efficience maxima. La qualité d'un travail scientifique, par exemple, effectué en zone polaire, exige pour l'homme qui y est affecté, non seulement d'être placé dans des conditions physiologiques les plus proches de la normale, mais encore de disposer pour ainsi dire d'un véritable confort psycho-physiologique. Le stade des techniques de protections externes est dépassé; c'est celui de l'adaptation interne de l'homme qu'il faut envisager.

C'est cette *étude de la fatigue chronique* en régions polaires que nous avons tenté, par l'observation systématique d'un groupe de sujets vivant durant 5 à 6 mois en région arctique, en l'occurrence le Groenland.

L'occasion nous a été donnée par l'Expédition Glaciologique Internationale au Groenland, à laquelle nous avons participé en tant que médecin. Cette expédition scientifique organisée par les Expéditions Polaires Françaises et dirigée par Paul-Emile Victor groupait sur le plateau glaciaire une cinquantaine de participants de diverses nationalités européennes.

Equipée selon les techniques les plus actuelles, elle prit la forme itinérante de raids mécanisés, nécessités par les déplacements des groupes scientifiques en de multiples points de l'Indlandais groenlandais. Elle était fractionnée en divers groupes autonomes (de 6 à 8 hommes) représentant chacun une discipline scientifique différente. Elle se déroula du 4 mars au 30 août 1959.

Le plan d'opération prévoyait que le médecin accompagnerait successivement différents groupes isolés, ce qui nous a permis d'être en rapport avec le maximum de sujets.

1. — *Pendant le premier mois* nous avons fait partie du convoi commun effectuant l'ascension de l'« Icecap » (calotte glaciaire).

2. — *Pendant les deux mois suivants* nous avons été spécialement attachés au groupe de tête comprenant 6 hommes et effectuant la traversée ouest-est du Groenland.

C'est sur ce groupe que nous avons pratiqué les divers tests cliniques de mise en évidence de la fatigue.

3. — *Durant les derniers mois* de l'expédition, nous avons accompagné deux autres groupes sur lesquels nous avons effectué à diverses reprises, les mesures de l'excitabilité neuro-musculaire au rhéotome électronique.

Ce travail a été pour nous l'occasion de passer en revue l'ensemble des données physiologiques actuelles sur la fatigue ainsi que ses éléments étiologiques particuliers à la vie polaire. Il est évident que cette synthèse présente un caractère schématique. La pathologie arctique se distingue de la pathologie antarctique par un certain nombre de facteurs, climatiques en particulier. C'est donc artificiellement que l'on peut parler de région, de vie, d'adaptation et de fatigue polaires, supposant de l'environnement polaire un caractère univoque.

Un certain nombre de points, communs à toutes les régions polaires, permettent de considérer un milieu polaire type — l'Icecap groenlandais en est une bonne image.

La première partie de ce travail est consacrée aux conditions ethnologiques, climatiques, et topographiques de l'expédition.

L'exposé des techniques employées lui succède.

Une deuxième partie est consacrée à la présentation des résultats :

- courbes d'excitabilité neuro-musculaire,
- résultats des différentes épreuves cliniques choisies.

Une troisième partie expose d'abord les généralités essentielles sur la fatigue.

S'efforçant de grouper les aspects cliniques et biologiques actuellement connus :

- aspect métabolique,
- aspect endocrinien,
- aspect neuro-électrique.

Afin d'analyser les caractéristiques propres à la fatigue des sujets transplantés en région polaire, nous avons ensuite étudié les différents facteurs d'agression spécifiques de la vie polaire (le froid, l'altitude, la nutrition, l'effort physique, la situation psychique) susceptibles de motiver cette fatigue.

La quatrième partie s'attache à l'interprétation des résultats et à leurs conséquences pratiques.

PREMIÈRE PARTIE

TECHNIQUE

I. — CONDITIONS GENERALES DU TRAVAIL

a) LES SUJETS.

- nombre : 55 hommes participaient directement à l'expédition;
- origine : 5 nationalités européennes : Allemagne, Autriche. Danemark, France, Suisse;
- âge : Les âges extrêmes allaient de 25 à 57 ans, l'âge moyen étant d'environ 32 ans.

Le hasard a voulu que certains groupes réunissent des hommes d'âge voisin, ce qui nous a permis d'étudier :

— d'une part un premier groupe dont l'âge moyen était de 31 ans (*groupe A*),

— d'autre part, un second groupe d'âge moyen plus élevé comprenant 3 sujets de plus de 50 ans (*groupe B*).

Etat de santé : Tous ces sujets ayant été soumis à un examen général clinique et paraclinique, étaient réputés être en excellent état général.

b) LE PAYS.

Le Groenland est la plus grande île du monde, sa superficie égale à peu près 5 fois celle de la France; c'est aussi la terre la plus septentrionale du globe. Son point le plus nord n'est qu'à 750 kilomètres du pôle. Elle est presque entièrement couverte d'un désert de glace qui représente 5/6 de sa superficie, dont l'altitude dépasse 3 300 mètres, que l'on appelle l'Indlandsis.

Cette immense masse de glace repose sur un soc rocheux sous-glacière qui apparaît sur la côte, seule région habitable. C'est sur cet Indlandsis totalement désert que devait se dérouler l'expédition.

c) SON CLIMAT.

Grâce à un courant chaud baignant la côte ouest et un courant glacial longeant la côte est, le centre de l'Indlansis jouit d'un climat

complexe intermédiaire entre le climat maritime et continental. L'année comporte deux saisons :

— un hiver où la température descend à -60°C ,

— un été où elle atteint -12°C .

Le vent dépasse rarement la vitesse de 130 km/heure.

L'expédition était une campagne d'été et se déroulait de mars à août.

Les températures extrêmes enregistrées ont donc été de -45° en mars, à -7° , au mois de juillet.

d) LES ÉTAPES DU PARCOURS.

Le programme de recherche de l'expédition, portait sur l'étude du bilan de masse de l'Indlandsis dans une zone traversant le centre du Groenland de la côte ouest à la côte est, et grossièrement située de part et d'autre d'un axe joignant la baie de Disko au Cecilia Nunatak (fig. 1).

Le champ opérationnel de l'expédition s'étendait donc :

— d'une part du 69° au 72° degré de latitude nord;

— d'autre part, du 28° au 48° degré de longitude ouest.

C'est pratiquement dans ce quadrilatère que les 50 hommes de l'expédition ont vécu durant 5 mois.

1° Les hommes étaient stationnés en mars 1959 sur la côte ouest au fond du Søndre Strømfjord, c'est-à-dire au *niveau de la mer*. De là devait partir le convoi commun.

2° La deuxième étape représentait l'ascension de l'Indlandsis, c'est-à-dire la traversée de la zone marginale ouest, zone tourmentée et crevassée donnant accès au rebord ouest de l'Indlandsis, soit à une altitude d'environ 1 600 mètres. Cette ascension dura 20 jours (Pl. I).

3° Après avoir remonté de 300 kilomètres vers le Nord la bordure ouest de l'Icecap, l'expédition entreprenait la traversée proprement dite du Groenland dans toute sa largeur (1 350 km) atteignant progressivement et par paliers successifs une altitude culminante de 3 200 mètres. Elle était alors scindée en divers groupes scientifiques autonomes.

Groupe A : Durant cette étape, nous nous sommes attaché à l'étude d'un groupe de 6 hommes, tous de nationalité française que nous appellerons groupe A et dont l'âge moyen était de 31 ans. Ce groupe se déplaçait à une vitesse très régulière le long de l'Icecap,



Figure 1.

c'est-à-dire à une vitesse d'ascension, puis de descente relativement constante.

Notre observation clinique comportait :

- une prise des pulsations cardiaques au repos, matin et soir;
- une mesure de la pression artérielle à intervalles réguliers;
- la mesure du temps d'apnée volontaire en expiration et inspiration forcées;
- la mesure de la capacité pulmonaire;
- la mesure du pli cutané;
- la mesure enfin du test de Schneider,
du test de Crampton,
du test de Plas.

Toutes ces mesures étaient effectuées à intervalles réguliers, c'est-à-dire à des altitudes croissantes et décroissantes. A chaque fois nous avons pris soin de noter les conditions immédiates de l'examen. Le groupe A avait pour tâche d'une part de tracer la piste, mais surtout de réceptionner tout au long du parcours, les parachutages de matériel destinés à constituer plusieurs dépôts de ravitaillement. Nous précisons plus loin l'effort physique que représentait cette tâche.

Les conditions de vie étaient celles d'un raid mécanisé relativement confortable. Les hommes vivaient dans des caravanes remorquées, non chauffées mais soigneusement calorifugées (Pl. I).

Ils recevaient 3 repas réguliers par jour selon le régime indiqué plus loin.

Ils bénéficiaient d'un sommeil quotidien d'environ 8 heures.

D'un dépôt à l'autre, ils se déplaçaient à l'intérieur des véhicules très chauffés, durant 6 à 8 jours, ce qui leur donnait un temps de récupération satisfaisant. Cette surveillance clinique a duré 50 jours, correspondant à un changement d'altitude de 2 000 à 3 300 mètres.

Le Groupe B que nous avons pu observer pendant les deux derniers mois de l'expédition, réunissait des hommes d'âges plus variés, dont deux atteignaient 54 et 57 ans.

Les sujets réunis dans ce groupe n'effectuaient aucun travail musculaire intense, mais se consacraient aux observations scientifiques de leur discipline. Ils en étaient par contre à leur 4^e et 5^e mois de raid polaire. A ce groupe sont venus s'adjoindre 6 hommes d'équipage militaire aérien récemment arrivés de France et dont l'observation permettait un véritable test de comparaison.

Les conditions de vie étaient à part cela rigoureusement les mêmes que celles du groupe A.

Nous avons essentiellement réservé à ce groupe l'étude de l'*excitabilité neuro-musculaire* au moyen du *rhéotome électronique*;

Cette étude a porté sur 12 sujets de nationalités différentes pendant une durée de 50 jours, et à une altitude décroissante de 3 300 à 1 600 mètres.

Nous avons consigné sur la figure 2 l'ensemble des conditions chronologiques et topographiques de ces observations.

II. — LES TECHNIQUES

A. — MESURE DE L'EXCITABILITE NEURO-MUSCULAIRE (E.N.M.)

Nous nous proposons d'établir des courbes traduisant les modifications de l'E.N.M. chez l'homme en fonction de la fatigue.

Pour cela, nous avons procédé à l'établissement d'un certain nombre de courbes : intensité-durée.

On sait qu'il s'agit de mesurer l'intensité linéaire d'un stimulus électrique capable de provoquer une réponse musculaire, en un temps donné. On porte en coordonnées, temps et intensité, et l'on obtient une courbe grossièrement hyperbolique caractéristique de chaque état et sur laquelle on retrouve les deux données fondamentales : rhéobase et chronaxie.

On applique l'excitation électrique, en divers points nommés *points moteurs*, et précisés par les schémas d'Erb ou de Bergonie.

Nous avons superposé sur le *même graphique la courbe d'excitabilité du muscle* et celle du *nerf* qui le commande. Leur comparaison, on le verra, présente un grand intérêt dans l'étude de la fatigue.

Comme *points moteurs*, nous avons utilisé, et ce pour des raisons pratiques, des points moteurs accessibles :

— *au membre supérieur* : opposant du pouce et médian;

— *au membre inférieur* (rarement) : jambier antérieur et sciatique poplité externe.

Notons que si nous avons choisi l'opposant du pouce (en raison de la participation de la main au travail effectué, et également pour des raisons de pure commodité vestimentaire non négligeable en climat polaire), la recherche de son point moteur n'est pas toujours aisée et doit être bien différenciée de celui de l'adducteur.

Type d'appareil.

Comme générateur de stimuli électriques, nous avons utilisé un appareil du type « rhéotome électronique » (Société Electromagnéti-

que) générateur de signaux rectangulaires de durée connue et d'intensité mesurée.

Cet appareil, portatif et thermostaté, était alimenté par les batteries 12 volts des véhicules (Pl. II).

Il nous donnait *des stimuli* d'une *intensité* de 1 à 20 mA, pour une *durée de passage* allant de 0,1 à 300 ms.

Conditions de recherche.

Nous avons réalisé 3 *séries de tracés* (42 courbes)

— à 2 450 m d'altitude, 110^e jour de raid;

— à 2 100 m d'altitude, 20 jours plus tard;

— à 1 600 m d'altitude, également 20 jours plus tard.

L'ensemble de ces tracés a été réalisé pendant le dernier tiers de la campagne.

Chaque examen a été réalisé dans des conditions de confort et de chaleur satisfaisantes, le plus souvent à l'intérieur même du véhicule où la mise en marche préalable du réchauffeur nous permettait d'atteindre, au moment de l'examen, une température ambiante de + 15°C. Nous pensons donc avoir éliminé toutes modifications que l'influence immédiate du froid aurait pu apporter.

De même n'avons-nous étudié que des sujets se livrant à leurs activités habituelles, écartant au moment de l'examen tout sujet venant de fournir un effort musculaire immédiat ou trop important. C'est en effet la condition générale du sujet que nous voulions étudier, indépendamment de toute influence passagère.

Protocole des mesures.

Nous avons suivi, pour l'établissement de nos courbes, le protocole suivant :

— *recherche du point moteur*, à l'aide de stimuli de durée très brève. Celui-ci trouvé, nous y fixions l'électrode reliée à la borne négative de l'appareil;

— *recherche des contractions - seuil*, en commençant par les *stimuli de brève durée* : 0,1 ms;

— chaque fois que nous obtenions une réponse musculaire, c'est-à-dire, que nous dépassions le seuil, *nous diminuions l'intensité* afin de revenir au-dessous du seuil. Puis, *réaugmentant progressivement l'intensité*, nous notions attentivement l'apparition de la contraction-seuil, celle-ci étant alors valable. La réponse valable doit en effet

être obtenue en augmentant l'intensité, alors que l'on n'a pas encore la réponse, et non en diminuant celle-ci, alors que l'on a une réponse très au-dessus du seuil.

Nous avons procédé ainsi, *des temps courts aux temps longs*, c'est-à-dire pour 0,3 ms, 1 ms, 3 ms, 10 ms, 30 ms, 100 ms et 300 ms, faisant hautement remarquer au sujet que nous diminuions l'intensité, ce qui amène une certaine détente chez les individus pusillanimes. En réalité, ce procédé a l'avantage d'arriver aux temps longs (10, 30 et 100 ms) sans avoir polarisé l'élément mesuré, la quantité d'électricité parcourant cet élément n'étant pas physiologiquement à considérer.

B. — MESURES CLINIQUES

1° Pouls au repos.

Nous avons relevé les pulsations des 6 hommes du groupe A, presque quotidiennement durant 50 jours du 1^{er} mai au 20 juin. L'équipe était alors en pleine traversée de l'Icecap (Ouest-Est), évoluant entre 3 300 et 1 700 mètres.

Chaque fois, nous nous efforcions de recueillir les pulsations/minute, matin et soir, le matin avant même le lever du sujet, le soir après 15 ou 30 minutes de repos.

Le pouls à l'effort a été étudié sous la forme du test de Schneider et Crampton.

Le pouls après apnée en expiration, sous la forme du test de Plas.

Enfin, dans un ou deux cas de tachycardie au repos, nous avons étudié l'effet de l'oxygénation sur le ralentissement du pouls.

2° Tension Artérielle (T.A.).

Celle-ci a été régulièrement relevée chez le même groupe et durant la même période, à intervalles réguliers d'environ 6 à 8 jours.

La modification de la T.A. lors du passage de la position couchée à la station debout était un des éléments du test de Schneider.

3° Test de Schneider.

Ce test, ainsi que le test de Crampton, combine les réponses d'un certain nombre de réactions de l'organisme, d'origines parfois différentes. Finalement, il analyse les réactions du système cardiovasculaire à l'effort et à l'orthostatisme, enfin la rapidité de retour aux conditions antérieures. Ils mesurent donc à la fois l'état de sympathicotomie des sujets, la réaction de l'organisme aux changements de position, montrant l'importance de la participation des zones sensibles aortiques et sinocarotidiennes, du vague, et des centres cardiorégulateurs.

Sont donc aussi probablement en cause les réponses hormonales, hypophysaires et surrénaliennes.

Enfin, ils mesurent la tolérance du myocarde à l'effort.

Pratiquement, c'est plus un test de résistance et de comportement à l'effort que de fatigue. Mais l'intérêt de ces tests est confirmé par leur confrontation avec les mesures d'E.N.M. M. Thiébault, dans ses observations faites sur le bataillon de Joinville, trouve une concordance de 99 % des cas entre les tests cliniques et les résultats électriques.

TECHNIQUE.

Chez le sujet couché depuis 5 minutes au moins,

— on prend le pouls radial à 2 ou 3 reprises en notant leur moyenne,

— on prend la pression artérielle maxima à 2 ou 3 reprises, pour en noter la moyenne.

Le sujet se lève, et l'on attend 2 minutes,

— on prend le pouls radial, et on note la différence entre les pouls en position debout et couchée,

— on mesure la pression artérielle maxima, pour calculer la différence entre les pressions maxima en position couchée et debout.

Epreuve de l'effort,

— elle est représentée par l'exercice suivant répété 5 fois en 15 secondes :

Le pied droit du sujet reposant sur un tabouret, on lui commande de s'élever lentement et sans aucune aide jusqu'à ce que son pied gauche vienne reposer lui aussi sur le tabouret. Puis il revient lentement à la position initiale.

Récupération,

— on compte le pouls dès la fin de l'exercice et on le note à la 15^e seconde, à 1 minute, à 1 minute 1/2 et 2 minutes.

Résultats,

— toutes ces mesures se voient attribuer un nombre de points allant de — 3 à + 3. Il est facile de les calculer à l'aide d'un tableau standard établi par les auteurs.

La note totale peut varier entre — 10 et + 18. La note moyenne pour les sujets normaux oscille entre + 11 et + 13. Une note de 15 ou 16 est considérée comme bonne, 17 ou 18 comme très bonne, 13

ou 14 comme assez bonne, inférieure à 9 comme traduisant un état de déficience physique.

En analysant le tableau de cotations, on remarquera que parmi les éléments péjoratifs, susceptibles de diminuer la note finale, figurent :

- un pouls supérieur à 70 pulsations/minute en position couchée;
- une augmentation du pouls supérieure à 11 lors du changement de position;
- un pouls supérieur à 80 pulsations/minute en position debout;
- une augmentation du pouls supérieure à 10 immédiatement après l'effort;
- un retour du rythme du pouls à la normale supérieure à 60 secondes, après effort et en station debout;
- enfin, une chute de la T.A. maxima, de 2 à 7 mm de Hg, lors du passage à la station debout.

TABLEAU DE COTATION DU TEST DE SCHNEIDER

A COUCHÉ		B AUGMENTATION DU RYTHME PAR PASSAGE A LA POSITION DEBOUT				
Rythme du pouls	Points	0—10 Batte- ments	11—18 Batte- ments	19—26 Batte- ments	27—34 Batte- ments	35—42 Batte- ments
50— 60	3	3	3	2	1	0
61— 70	3	3	2	1	0	—1
71— 80	2	3	2	0	—1	—2
81— 90	1	2	1	—1	—2	—3
91—100	0	1	0	—2	—3	—3
101—110	—1	—1	0	—1	—3	—3

C DEBOUT		D AUGMENTATION DU RYTHME DU POULS IMMÉDIAT APRÈS L'EXERCICE				
Rythme du pouls	Points	0—10 Batte- ments	11—20 Batte- ments	21—30 Batte- ments	31—40 Batte- ments	41—50 Batte- ments
60— 70	3	3	3	2	1	0
71— 80	3	3	2	1	0	0
81— 90	2	3	2	1	0	—1
91—100	1	2	1	0	—1	—2
101—110	1	1	0	—1	—2	—3
111—120	0	1	1	—2	—3	—3
121—130	0	0	2	—3	—3	—3
131—140	—1	0	3	—3	—3	—3

E RETOUR DU RYTHME DU POULS A LA VALEUR NORMALE — DEBOUT — APRÈS EXERCICE		F PRESSION MAXIMA COMPARAISON DEBOUT OU COUCHÉ	
Durée : secondes	Points	Changements en mm Hg	Points
0— 60	3	Elévation de 8 ou plus	3
61— 90	2	Elévation de 2 à 7	2
91—120	1	Pas d'élévation	1
Après 120 secondes :		Chute de 2 à 5	0
— 2 à 10 battements au-dessus de la normale .	0	Chute de 6 ou d'avantage ..	—1
— 11 à 30 battements au-dessus de la normale .	—1		

La note finale est obtenue par addition des points acquis à chacun des six tableaux : A + B + C + D + E + F.

4° Test de Crampton.

TECHNIQUE : le sujet étant couché, au repos depuis quelques minutes, on note :

- son pouls,
- sa P.A. maxima.

Puis le faisant lever lentement, on attend une minute, puis l'on prend à nouveau son pouls et sa P.A. maxima.

Le résultat est exprimé en pourcentage (0 à 100 %) calculé selon le tableau à double entrée établi par Crampton.

On interprète ainsi le résultat :

- 95 à 100 %, très bon;
- 80 à 90 %, bon;
- 70 à 75 %, passable;
- 60 à 65 %, médiocre;
- au-dessous de 60 %, mauvais.

L'analyse du tableau de Crampton révèle que la note maximum (100 %) sera obtenue pour une accélération/minute du pouls de 0 à 4 pulsations, et une augmentation de la maxima de 10 mm de Hg.

Toute accélération du pouls supérieure à 5, ainsi que toute augmentation de pression inférieure à 10 (et *a fortiori*, toute diminution de pression) lors du passage à la position debout, interféreront pour diminuer la note finale.

De légères divergences apparaissent entre les critères de Schneider et ceux de Crampton. Dans le test de Schneider, une augmentation du pouls au changement de position, était jugée normale jusqu'à

18 pulsations/minute alors que pour Crampton, elle ne doit pas dépasser 5.

Néanmoins, les 2 tests se complètent et donnent des résultats concordants.

5° Test de Plas et Bourdinaud.

Ce test fait intervenir la sensibilité respiratoire au CO².

Les auteurs, faisant exécuter à leurs sujets une épreuve d'apnée volontaire en expiration forcée, constatent chez certains d'entre eux (surmenés, malades asthéniques ou convalescents) une réponse cardiaque différée ou une bradypnée prolongée.

A la suite d'une expérimentation effectuée sur 34 jeunes gens de la base aérienne de Villacoublay (1954), ils mirent au point le test suivant.

On note le rythme cardiaque avant et après une épreuve d'apnée volontaire en expiration forcée. Le rapport des pulsations cardiaques durant les 30 secondes qui suivent l'épreuve d'apnée, sur le rythme cardiaque, pendant les 30 secondes précédant l'apnée doit être égal à l'unité chez le sujet normal.

Un rapport supérieur à l'unité s'observe chez les sujets reposés.

Un rapport inférieur à l'unité (bradycardie prolongée) s'observe chez les sujets fatigués. La constatation d'un ralentissement du rythme cardiaque est une grande présomption de fatigue du sujet. En l'absence de ralentissement cardiaque, on peut affirmer que le sujet n'est pas fatigué.

6° Mesure spirométrique.

Nous avons mesuré la capacité pulmonaire active de chacun des 6 sujets, grâce à un spiromètre retrouvé parmi le matériel de la station d'hivernage Dumont.

Cette mesure, unique, n'avait pour nous qu'une valeur de référence.

7° Test d'apnée.

Cette mesure a été pratiquée à 3 reprises, à des intervalles d'environ 15 jours.

Elle indique le temps d'arrêt respiratoire que les sujets sont susceptibles de supporter, soit en inspiration, soit en expiration (l'apnée expiratoire étant d'un caractère beaucoup plus pénible).

Pour conserver une valeur, cette mesure doit être faite avec soin et dans des conditions très précises, c'est-à-dire que l'apnée doit être maintenue par le sujet jusqu'à la limite extrême de tolérance.

Personnellement, nous n'avons pu obtenir ceci qu'en donnant à ce test un caractère compétitif entre les divers sujets. A partir de ce moment, nous avons eu la surprise de voir les chiffres s'améliorer considérablement par rapport aux chiffres précédents.

8° Mesure du pli cutané (graisse corporelle).

Egalement à titre de référence, nous avons mesuré chez chacun le pourcentage de graisse corporelle par la méthode du pli cutané (Brozeck et Keys). L'évaluation du stock lipidique de l'organisme présente ici plusieurs intérêts. D'une part, pour tenter de « classer » chaque individu étudié, dans telle ou telle catégorie (maigre, obèse, pléthorique, etc.) et voir ainsi si son comportement aux tests de fatigue se singularise, d'autre part, pour mieux étudier le devenir des secteurs hydriques et lipidiques pendant la durée de l'observation.

La perte de poids corporel, constatée chez la presque totalité des membres des expéditions polaires peut en effet être rattachée à bien des causes :

— Fonte musculaire (par manque d'exercice, ceci surtout en base d'hivernage),

— perte des réserves lipidiques,

— ou prédominance de la déshydratation.

Sur le plan pratique, la mesure de la masse grasse n'est pas aussi simple qu'on pourrait le penser. Car le « tissu graisseux » (pannicule adipeux, graisses périsvérales) comporte une hydratation variable, dans le temps et d'un individu à l'autre; on trouve dans la littérature des pourcentages d'hydratation allant de 8 à 46 %. C'est que ce tissu est un tissu vivant, comportant une trame protéique, de l'eau interstitielle et de plus une vascularisation.

En principe on considère :

— que le pourcentage d'eau totale est inversement proportionnel au pourcentage de lipides (à poids égal, l'obèse est moins hydraté que le sujet maigre);

— l'eau extracellulaire de la masse grasse et celle de la masse maigre varient en sens contraire, l'eau extracellulaire totale restant théoriquement constante, quelle que soit la proportion de lipides (Cachera, Dubrisay et Lamotte), ceci dans les conditions non pathologiques.

Parmi les différentes méthodes de mesure de la graisse corporelle totale, la mesure du pli cutané est du plus grand intérêt par sa simplicité.

Elle part du principe que la graisse sous-cutanée et la graisse périviscérale se trouvent dans une proportion de 50 %, à peu près constante. Toutefois, la corrélation n'est pas faite entre l'épaisseur du pli cutané et la graisse totale, mais entre le pli cutané et la densité; c'est secondairement que l'on peut avoir le pourcentage de la graisse totale, à l'aide de formules appropriées.

On mesure le pli cutané à l'aide d'une sorte de pied à coulisse, conçu de telle façon qu'il applique sur la peau une pression constante.

On limite ces mesures à trois points précis, indiqués par la statistique comme ayant la meilleure corrélation avec la densité corporelle.

— X1 : thorax, sur la ligne axillaire moyenne à la hauteur de l'appendice typhoïde.

— X2 : à 3 ou 4 cm en haut et en dehors du mamelon.

— X3 : au milieu de la face postérieure du bras, à mi-chemin entre l'olécrane et l'acromion.

On applique alors la formule suivante :

$D = 1,088468 - 0,007123 X1 - 0,004834 X2 - 0,005513 X3$
où X1, X2 et X3 sont exprimés en centimètres.

A partir de la densité ainsi obtenue, on calcule le pourcentage de graisse corporelle avec la formule suivante :

$$\% L = 100 \frac{4,201}{D} - 3,81$$

La corrélation statistique entre l'ensemble des 3 points et la densité est satisfaisante : $R = 0,850$.

Les résultats obtenus sont inséparables de la méthode :

— Newman, par cette méthode, trouve un pourcentage moyen de lipides de 4,6 % chez une population de jeunes hommes noirs, et de 7,4 % chez des jeunes blancs.

— Le Bideau, Andrivet, Dumas, Galland, citent lors d'une enquête effectuée sur 130 jeunes sportifs un chiffre moyen de 8 %.

Signalons que par la méthode de l'espace de diffusion de l'anti-pyrine, Justin Besançon et Lamotte avaient retrouvé lors d'une étude systématique des sapeurs-pompiers de Paris, un pourcentage moyen des lipides de 20 %.

C'est dire que cette mesure ne prétend pas définir un standard d'adiposité moyenne chez l'homme; mais permet une étude comparative d'un groupe d'hommes et l'observation individuelle de chacun d'eux dans le temps.

C. — CRITIQUES DES CONDITIONS TECHNIQUES

Pour chaque mesure nous nous sommes efforcés d'éliminer toutes causes de perturbations immédiates, même celles d'apparence minime (café, tabac, froid) qui en fait se sont révélées capables d'influencer grandement les résultats dans les conditions de vie de nos sujets.

Dans plusieurs cas douteux, nous avons, soit éliminé les résultats, soit répété plusieurs fois les mesures pour obtenir une moyenne.

L'extrême labilité cardiovasculaire que nous avons pu constater, est, par exemple, une grossière cause d'erreur nécessitant une minutie prudente dans le relevé des mesures.

Nous ne pouvons que regretter de n'avoir pu pratiquer un plus grand nombre de tests, leur valeur étant avant tout statistique.

C'est que, dans les circonstances d'un raid polaire, il faut compter avec le psychisme des sujets, les convaincre de l'intérêt, souvent abstrait pour eux, de ces mesures systématiques dont la répétition devient rapidement lassante. Ainsi, si les mesures cliniques sont en général facilement acceptées, bien que pas toujours de bonne grâce à la fin d'une journée harassante, les mesures d'excitabilité N.M., supportables dans les conditions normales, n'étaient pas très populaires.

Outre sa propre lassitude (le médecin d'une expédition polaire doit en effet prendre part à tous les travaux communs), l'expérimentateur devra affronter l'irritabilité des caractères, la lassitude générale; il devra donc choisir ses heures et parfois renoncer, dans l'intérêt général du groupe et dans l'intérêt même des mesures.

Le problème est de créer un climat de confiance, susciter l'intérêt autour de ces recherches, voire même, nous l'avons vu, de développer un esprit compétitif.

Ce climat de confiance, son rôle quotidien de thérapeute l'aidera souvent à le réaliser. Les membres de l'expédition voient dans ces tests la dîme qu'ils payent pour la sollicitude médicale dont ils se sentent entourés. L'affichage des résultats est un moyen majeur, non seulement admis, mais souhaité par tous. L'un des médecins d'hivernage en Terre Adélie raconte qu'il dut un jour interrompre cette publication, celle-ci ayant entraîné des réactions violentes, des jalousies envers les « vainqueurs », des inimitiés, et même des accusations de partialité de la part du médecin.

DEUXIEME PARTIE

LES RÉSULTATS

I. — COURBES D'EXCITABILITE
NEURO-MUSCULAIRES (Fig. 3)

M. B. F...
 Scientif.
 Danois
 40 ans
 12 juillet
 2.450 m alt.
 4^e mois de raid

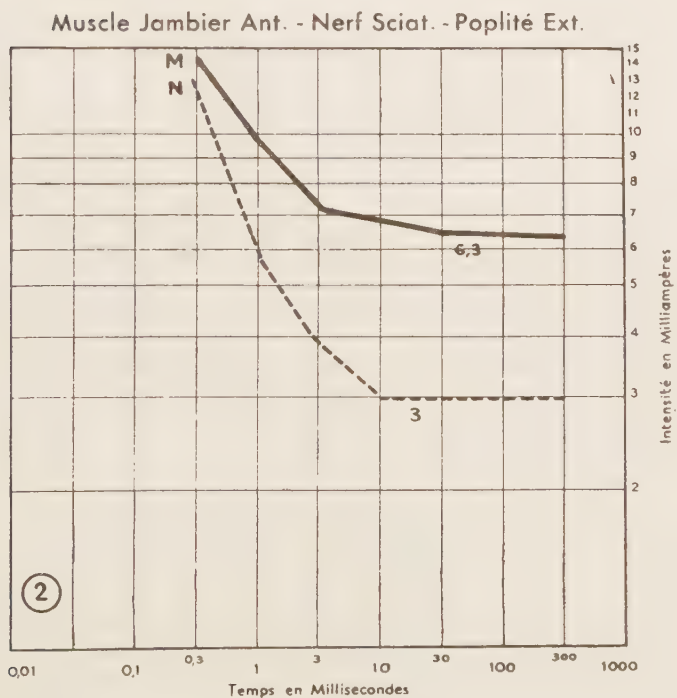
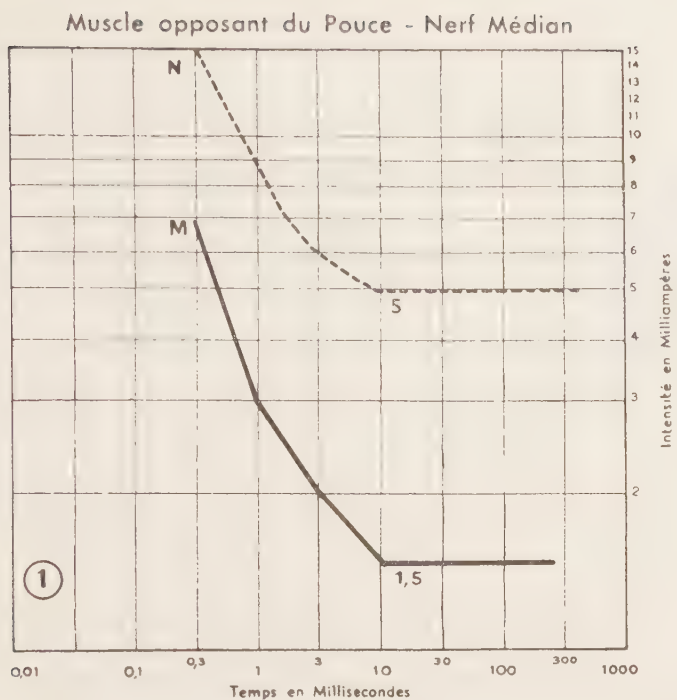
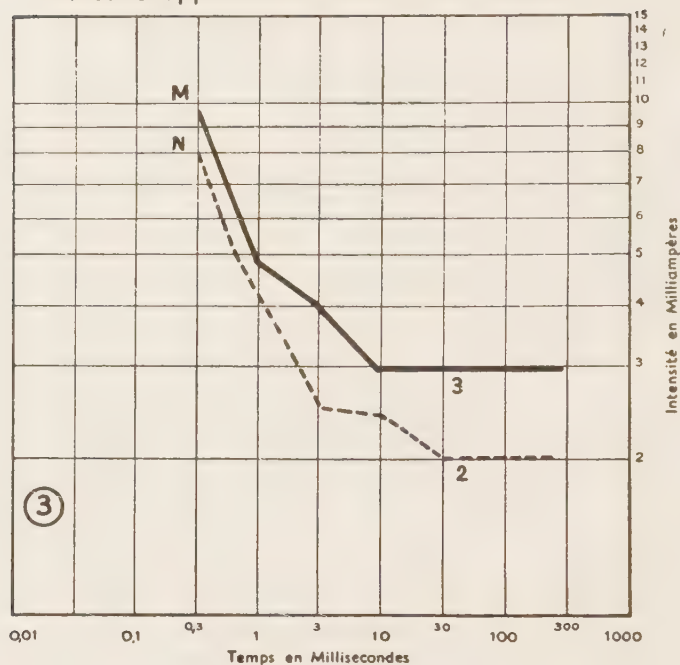


Fig. 3 (1,2)

M. E. V...
Scientif.
Français
54 ans
12 juillet
2.450 m alt.
4' mois de raid

Muscle opposant du Pouce - Nerf Médian



Muscle Jambier Ant. - Nerf Sciat. - Poplité Ext.

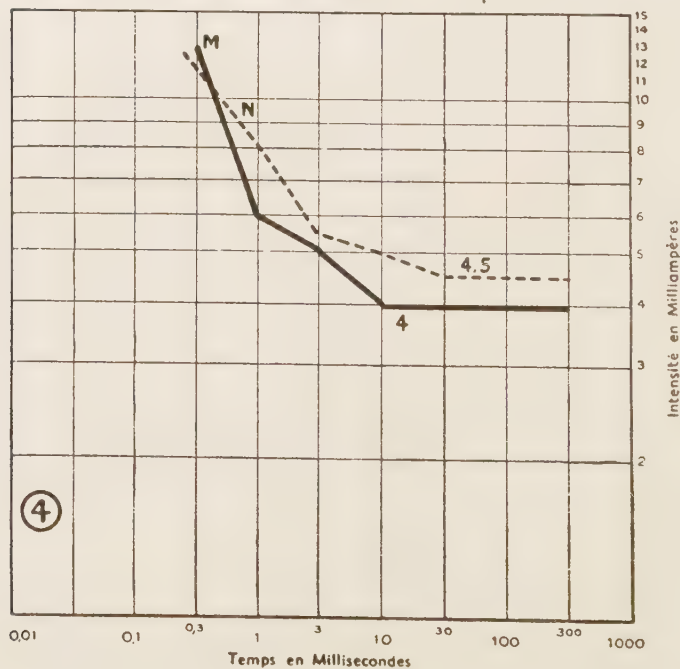
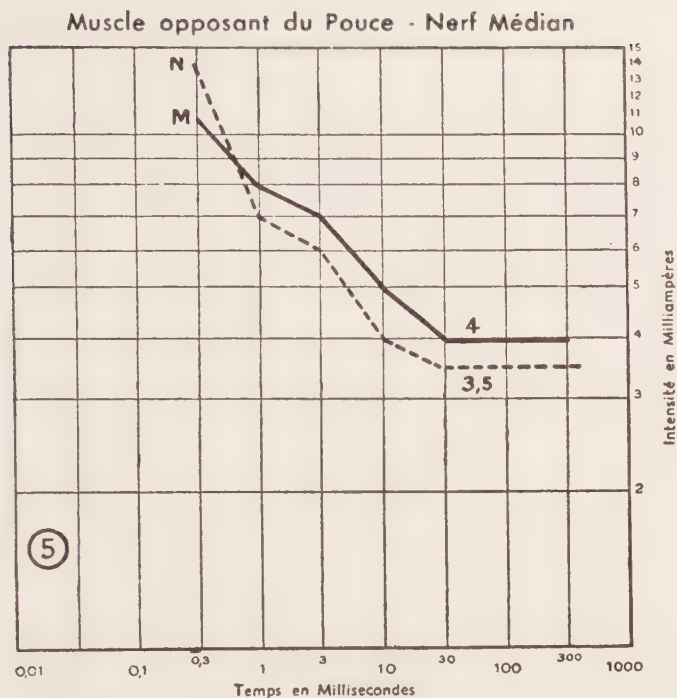


Fig. 3 (3,4)

H. B...
Scientif.
Allemand
58 ans
12 juillet
2.450 m alt.
4^e mois de raid



Même sujet
15 août
1.600 m alt.
5^e mois de raid

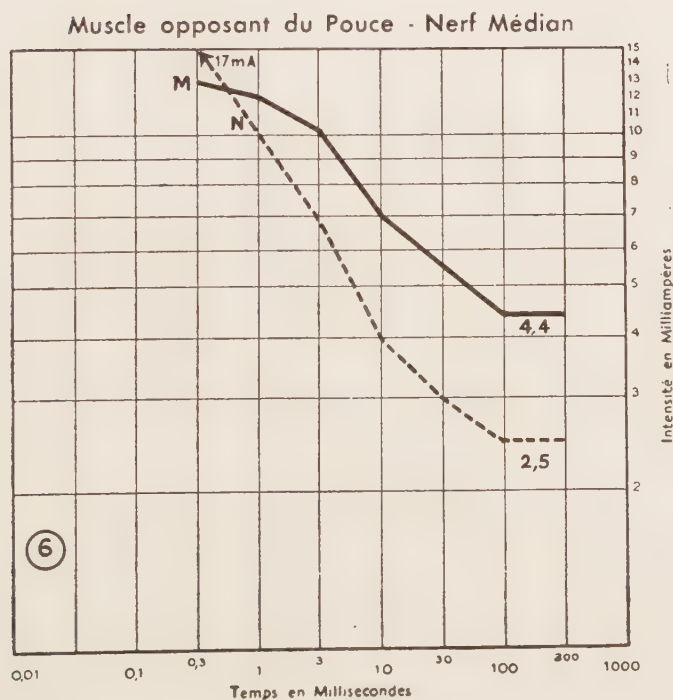


Fig. 3 (5,6)

Muscle opposant du Pouce - Nerf Médian

M. R...
 Mécanicien
 Français
 36 ans
 12 juillet
 2.450 m alt.
 4^e mois
 (après 3 heures
 de travail manuel)

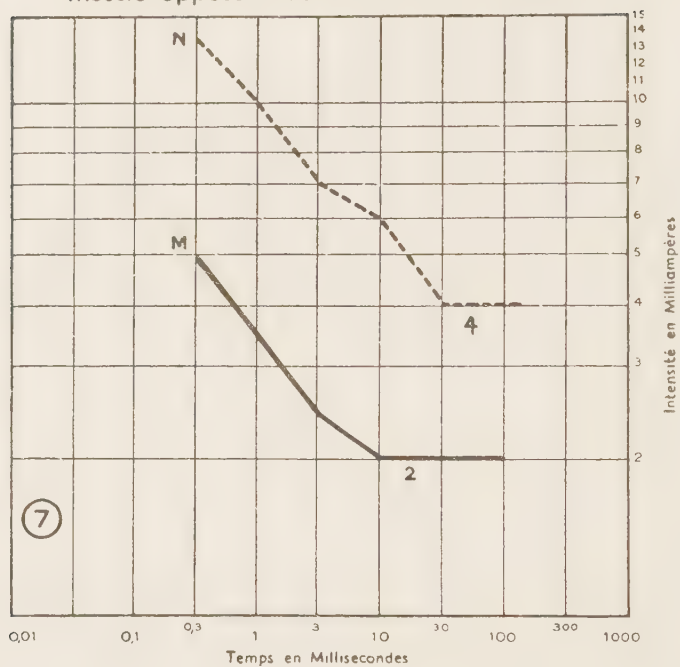
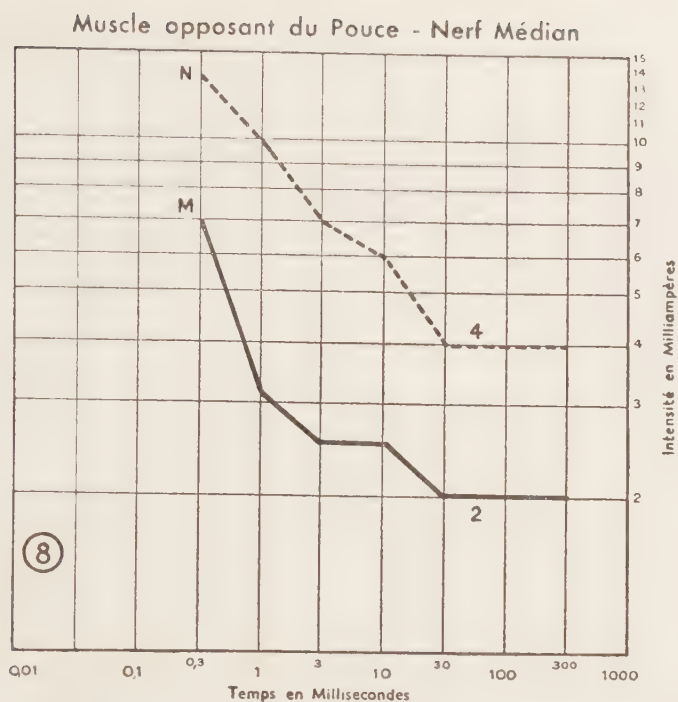


Fig. 3 (7)

M. C...
Radio
Français
28 ans
25 juillet
2.100 m alt.
4^e mois de raid



Même sujet
15 août
1.600 m alt.
Après A.T.P.
30 mg par jour,
pendant 10 jours

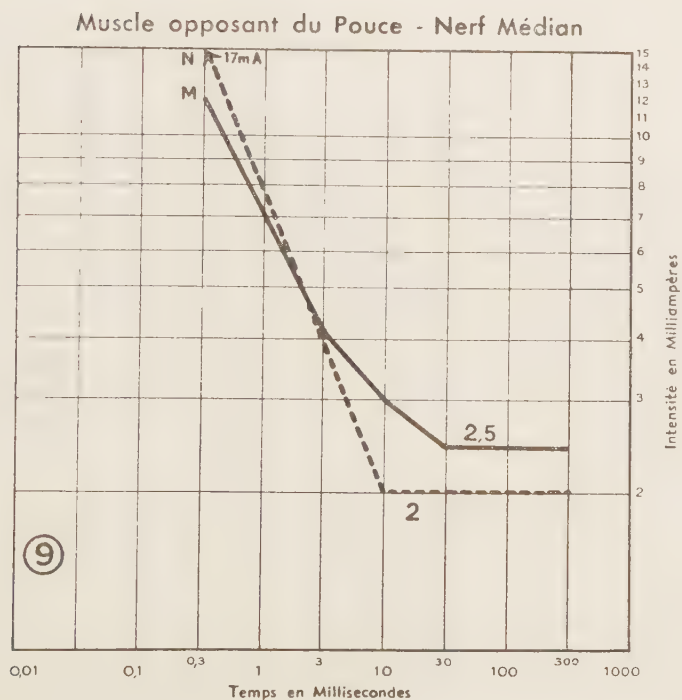
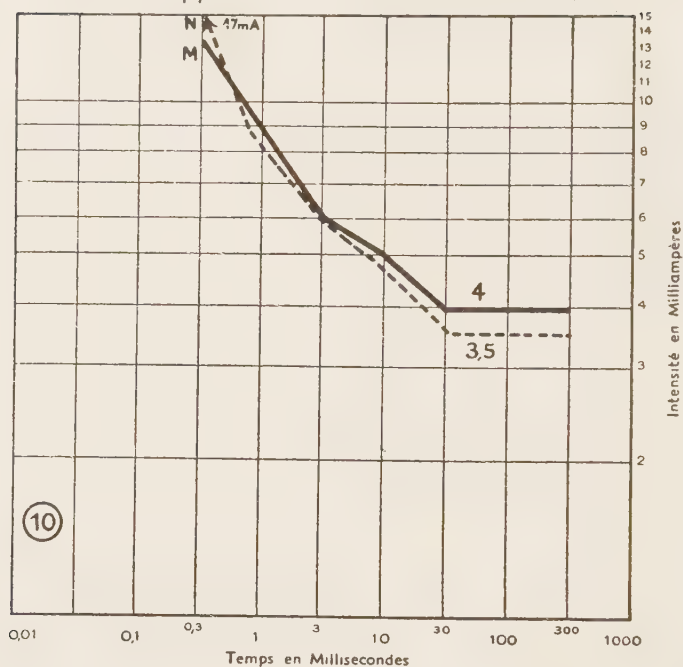


Fig. 3 (8,9)

Muscle opposant du Pouce - Nerf Médian

M. G...
Scientif.
Suisse
30 ans
25 juillet
2.100 m alt.
3^e mois,
10 jours de raid



Muscle opposant du Pouce - Nerf Médian

Même sujet
15 août
1.600 m alt.
4^e mois de raid

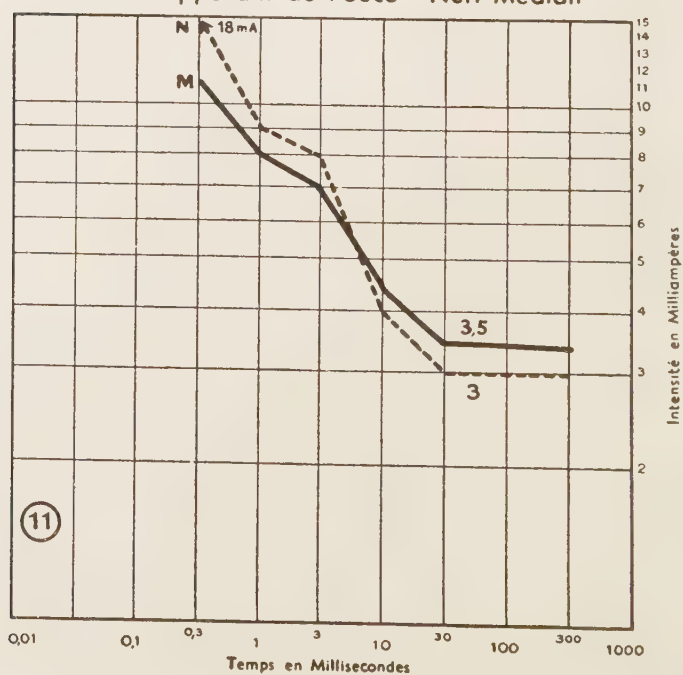
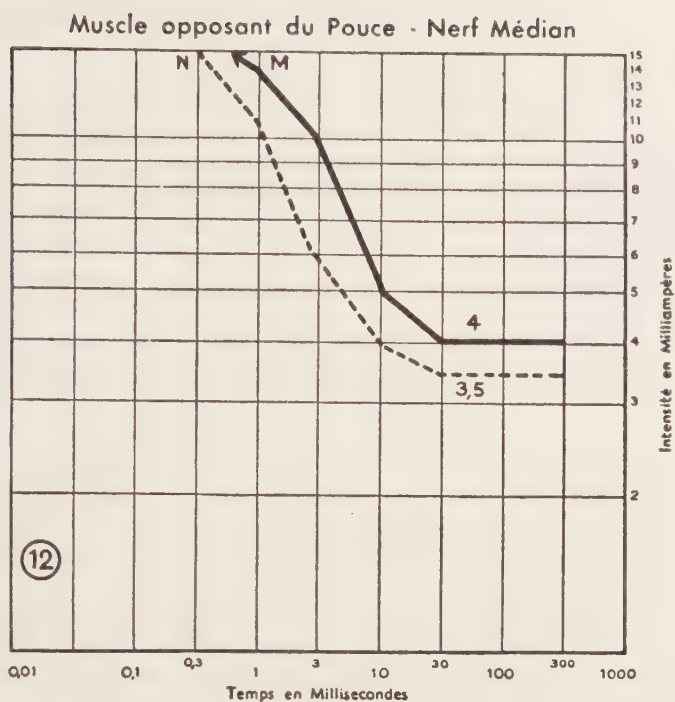


Fig. 3 (10,11)

H. N...
Scientif.
Allemand
30 ans
25 juillet
2.100 m alt.
3^e mois,
10 jours de raid



Même sujet
13 août
1.600 m alt.
4^e mois

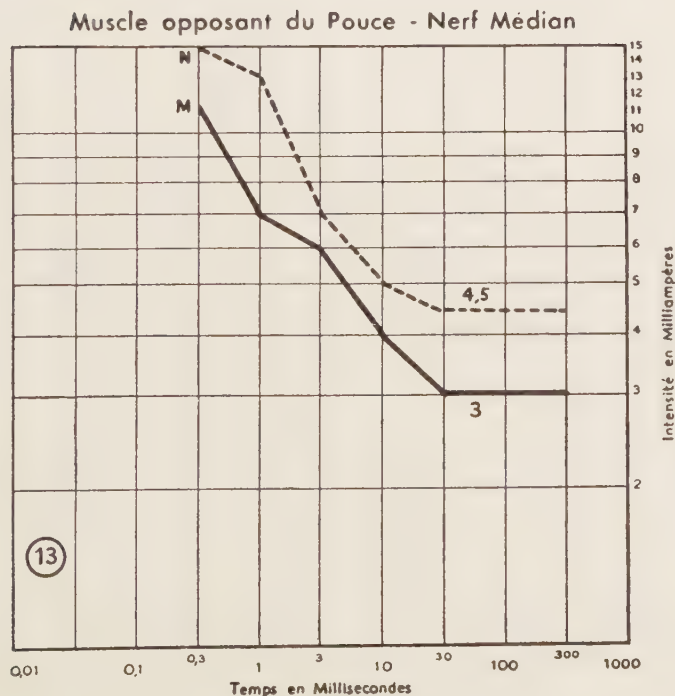
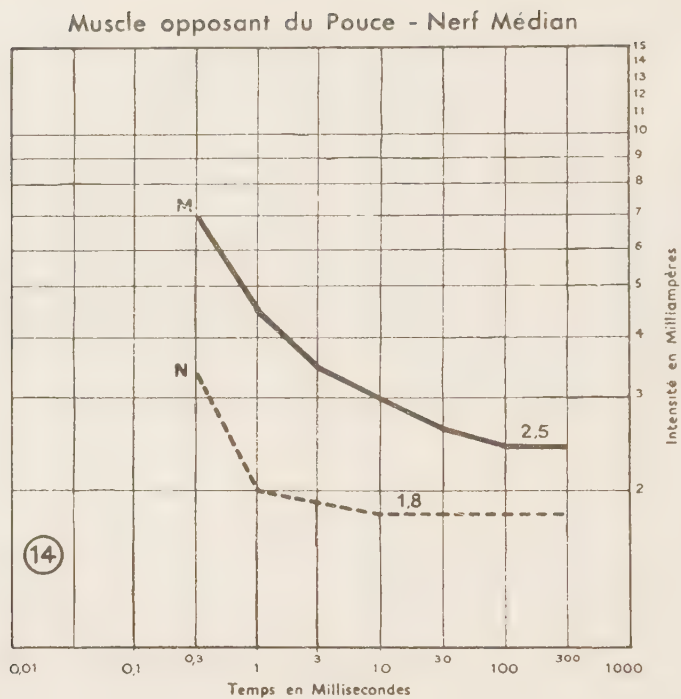


Fig. 3 (12,13)

H. O...
Scientif.
Allemand
27 ans
12 juillet
2.450 m alt.
3^e mois du raid



M. A...
Radio
Français
40 ans
25 juillet
1.900 m alt.
5^e mois de raid

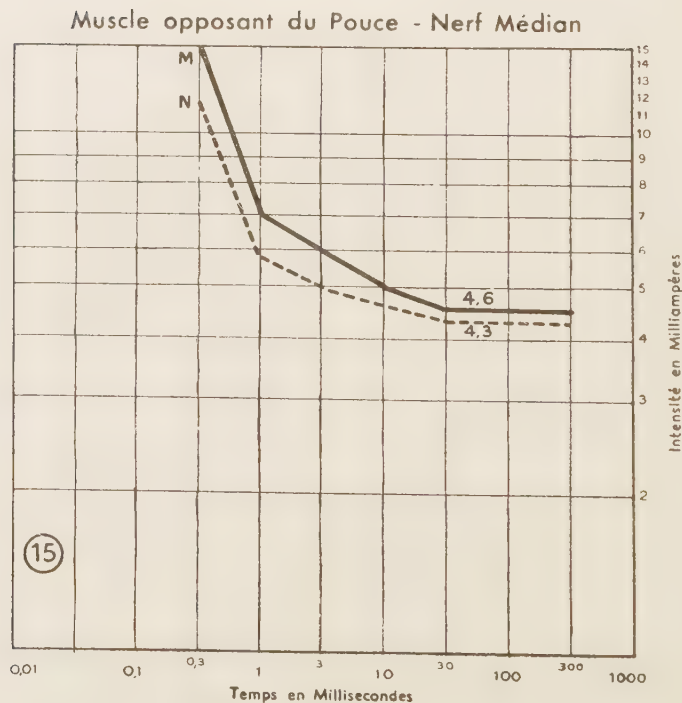
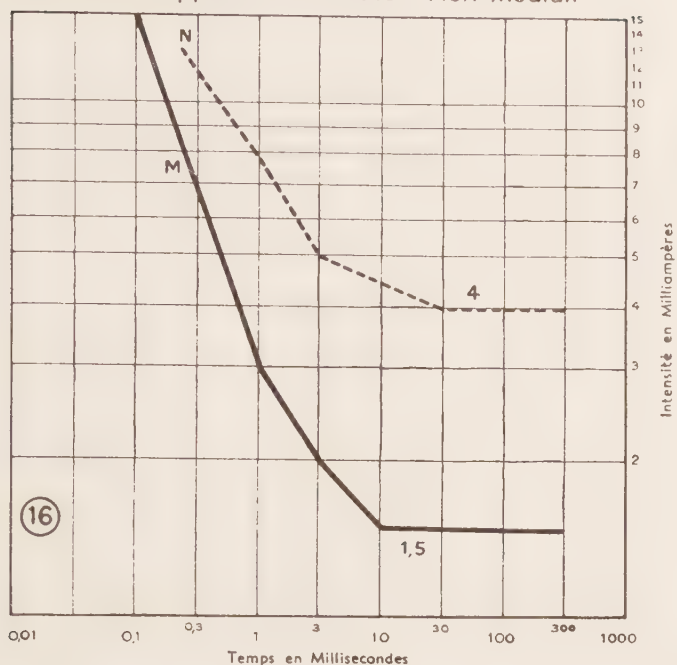


Fig. 3 (14,15)

Muscle opposant du Pouce - Nerf Médian

D. E...
 Mécanicien
 Français
 22 ans
 25 juillet
 2.100 m alt.
 4^e mois
 15 jours de raid



Muscle opposant du Pouce - Nerf Médian

Wi...
 Mécanicien
 Allemand
 39 ans
 26 juillet
 2.100 m alt.
 4^e mois,
 15 jours de raid

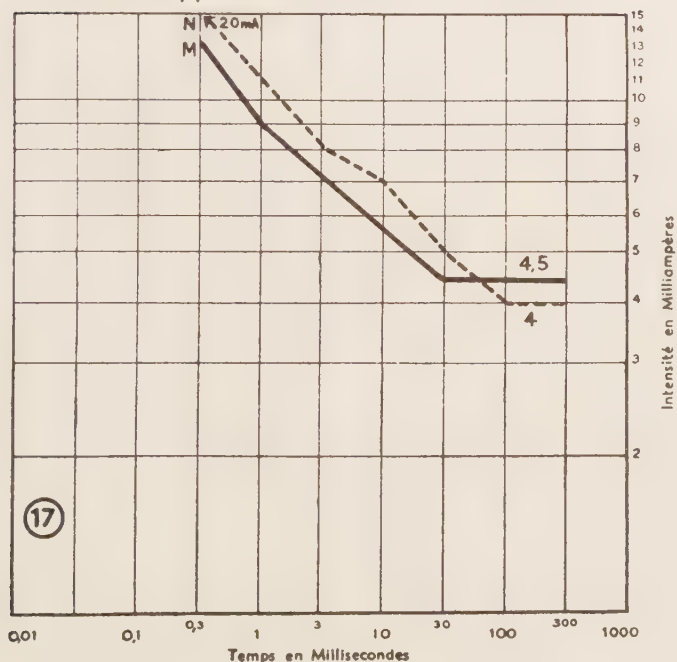
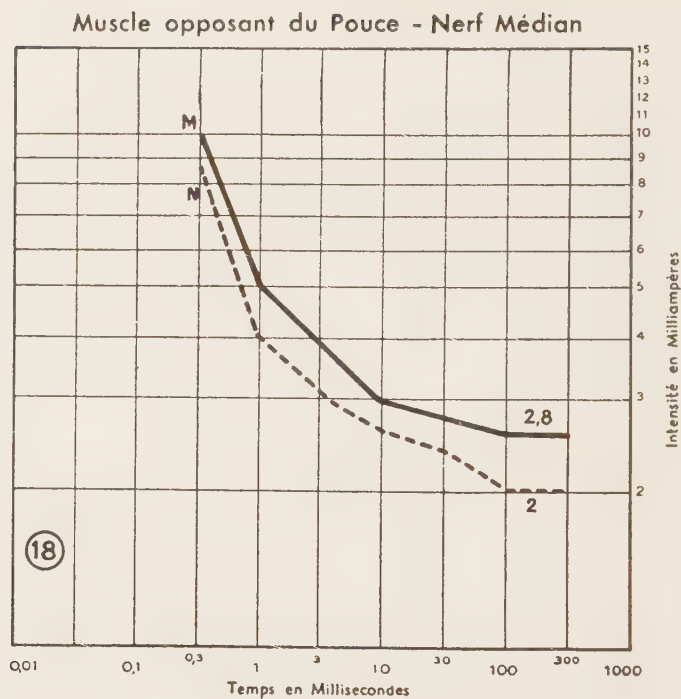


Fig. 3 (16,17)

S. Ca...
 Aviateur
 Français
 25 ans
 26 juillet
 2.100 m alt.
 10^e jour de raid



S. Hu...
 Aviateur
 Français
 23 ans
 26 juillet
 2.100 m alt.
 10^e jour de raid

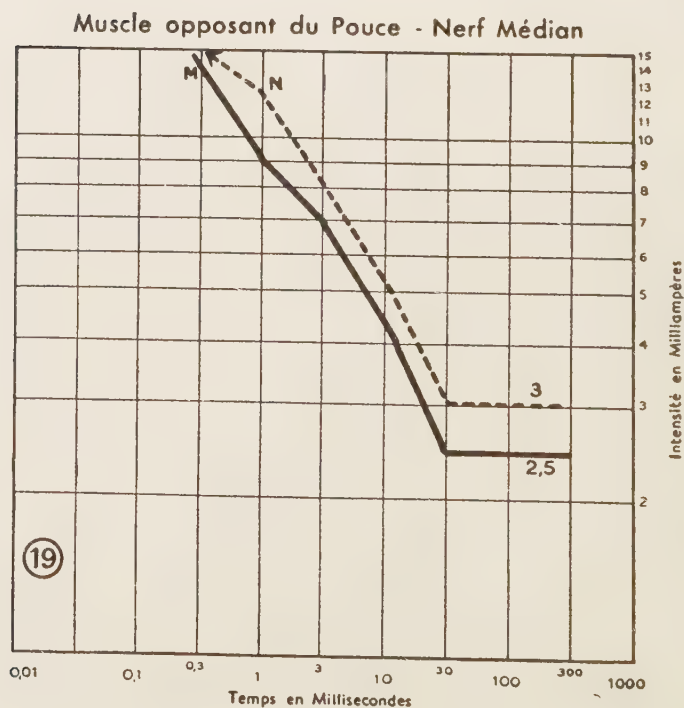
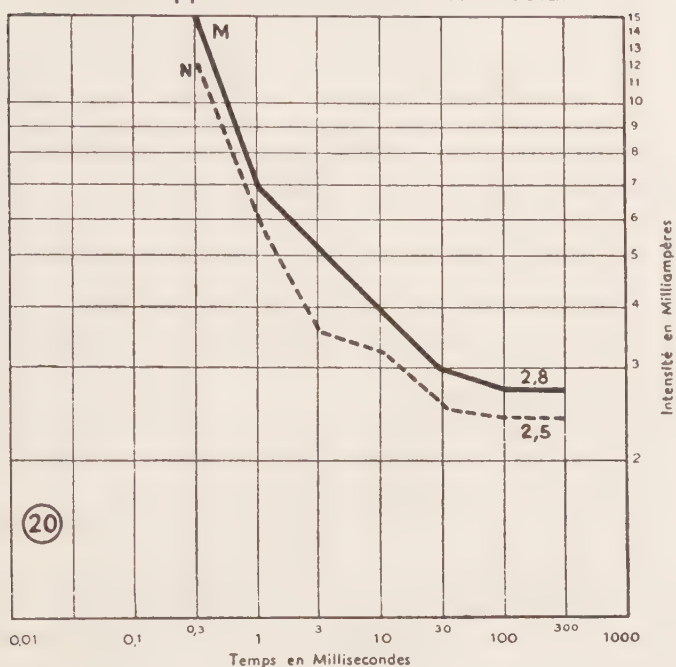


Fig. 3 (18,19)

Muscle opposant du Pouce - Nerf Médian

M. E...
Scient.
Allemand
45 ans
26 juillet
2.100 m alt.
3^e mois, 15 jours



Muscle opposant du Pouce - Nerf Médian

M. E...
48 heures plus tard

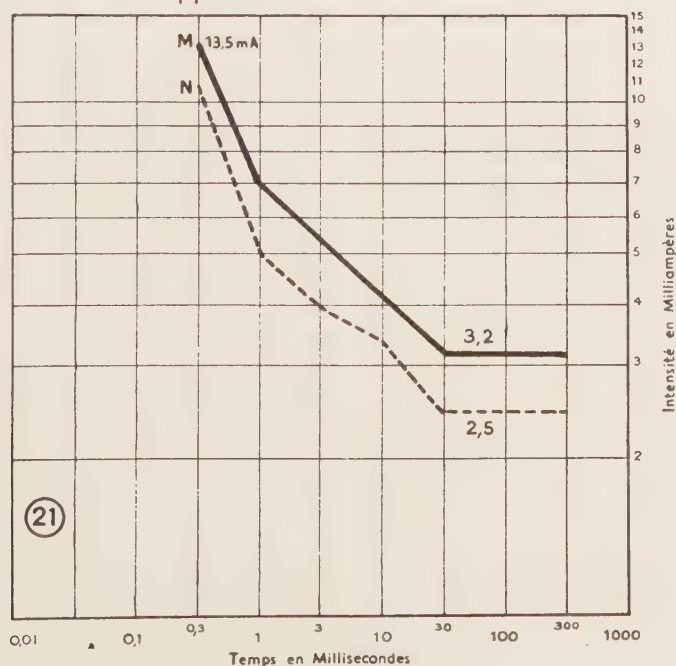
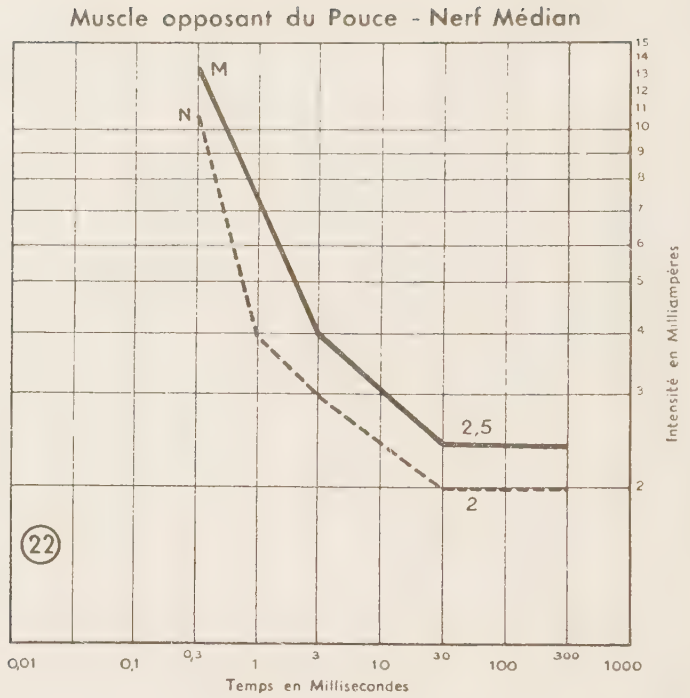


Fig. 3 (20,21)

H. O. F...
 Scientif.
 Allemand
 40 ans
 26 juillet
 2.100 m alt.
 3^e mois, 10 jours



Même sujet
 15 août
 1.600 m alt.
 4^e mois de raid

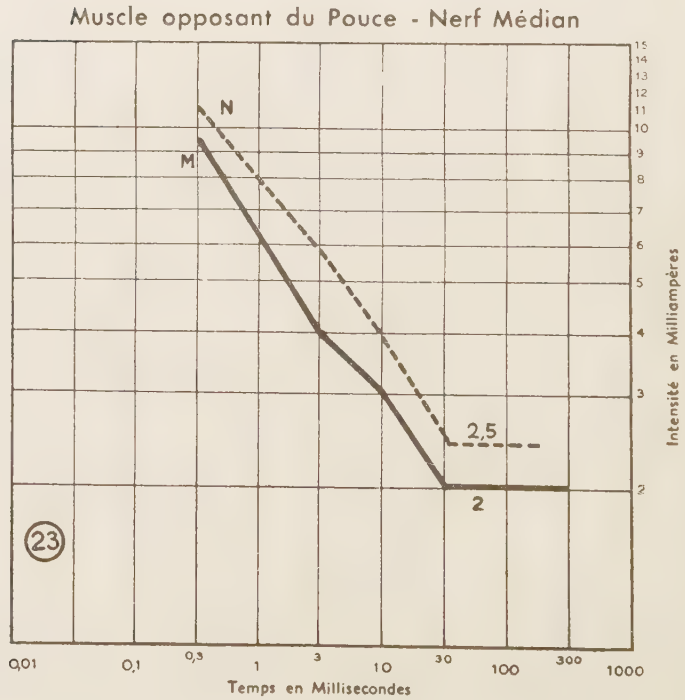
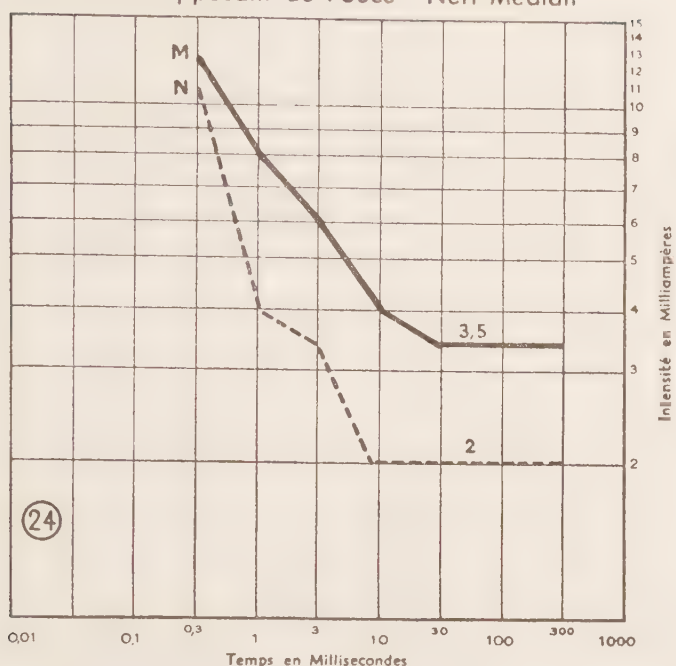


Fig. 3 (22,23)

Muscle opposant du Pouce - Nerf Médian

S. La...
 Aviateur
 Français
 27 ans
 26 juillet
 2.100 m alt.
 10^e jour de raid



Muscle opposant du Pouce - Nerf Médian

S. Vi...
 Aviateur
 Français
 24 ans
 26 juillet
 2.100 m alt.
 10^e jour de raid

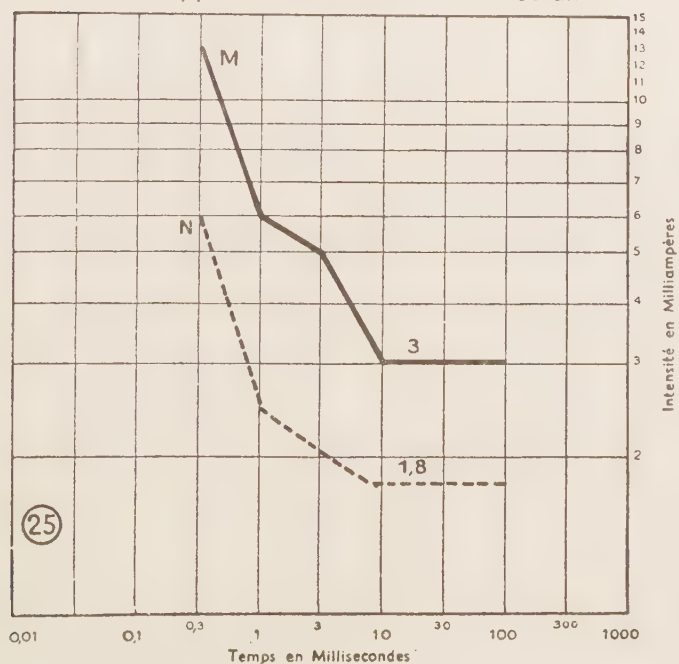
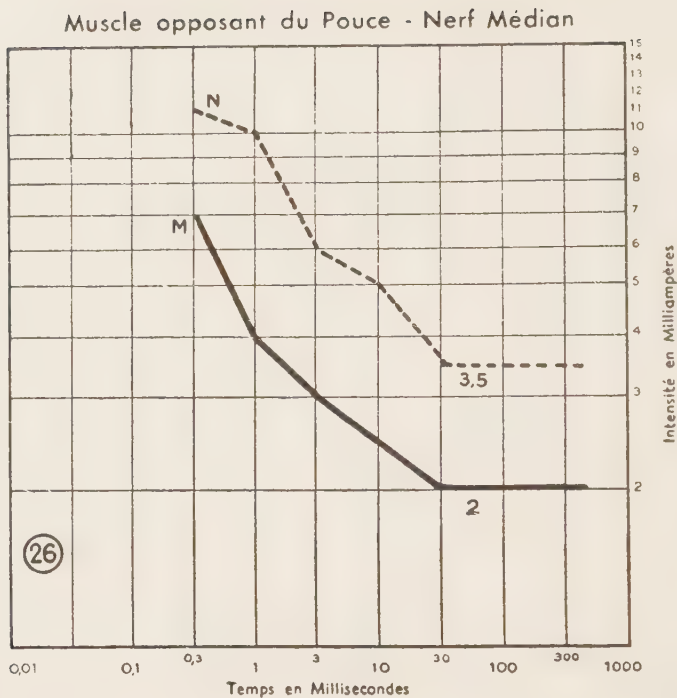


Fig. 3 (24,25)

R. C...
 Scient.
 Français
 39 ans
 26 juillet
 2.100 m alt.
 5^e mois



Même sujet
 15 août
 1.600 m alt.
 Après 8 jours
 de repos,
 et 4 jours de Vit. C
 1 g 500 par jour

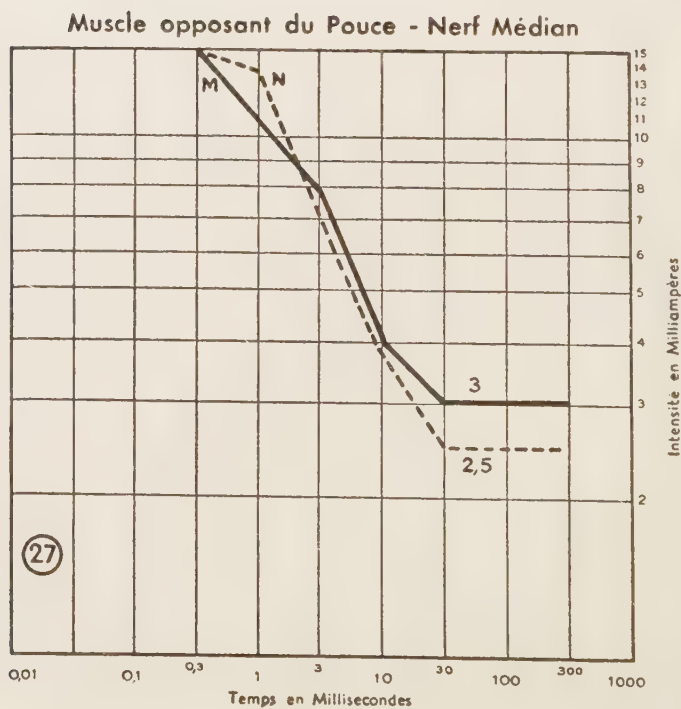


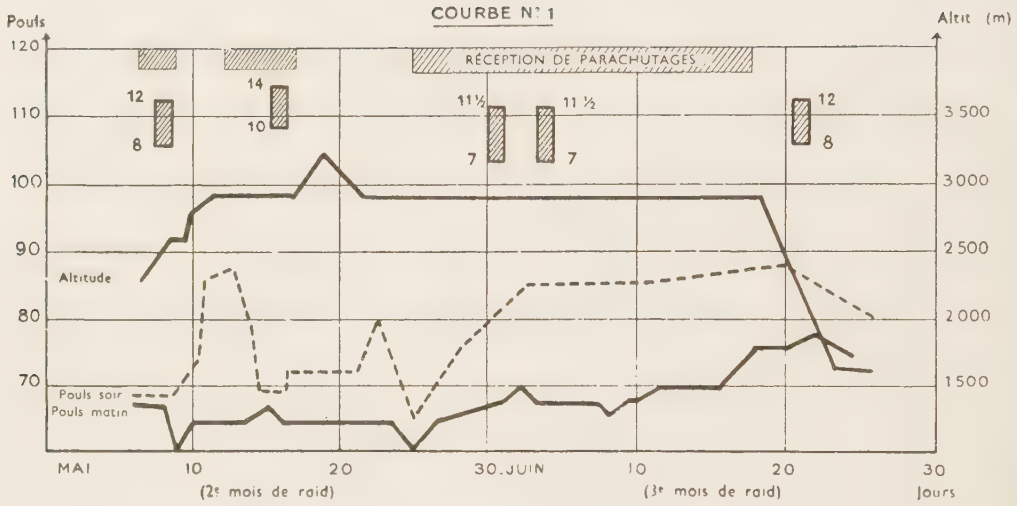
Fig. 3 (26,27)

II. MESURES ET TESTS CLINIQUES

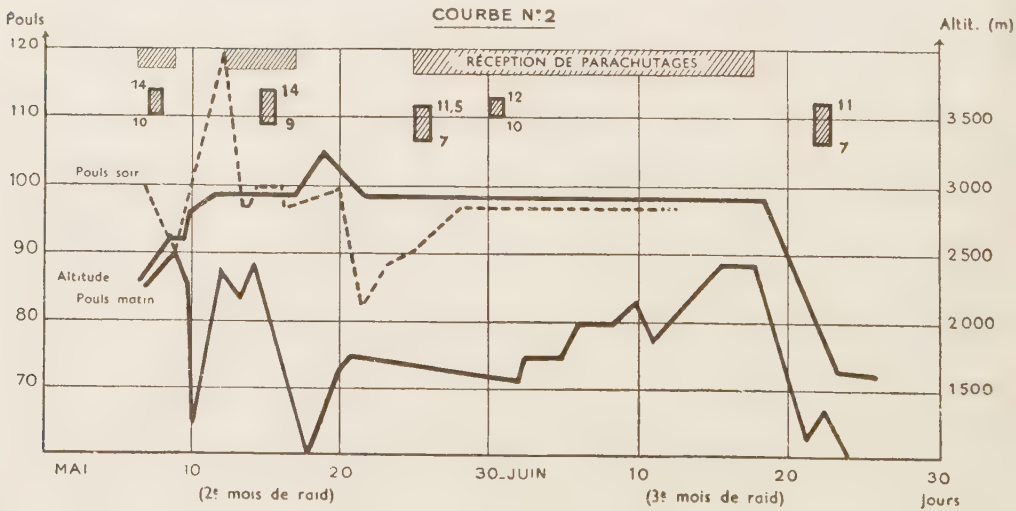
A. — RESULTATS DES MESURES

1° Pouls et T.A. au repos (fig. 4).

Les résultats sont consignés dans les courbes suivantes.

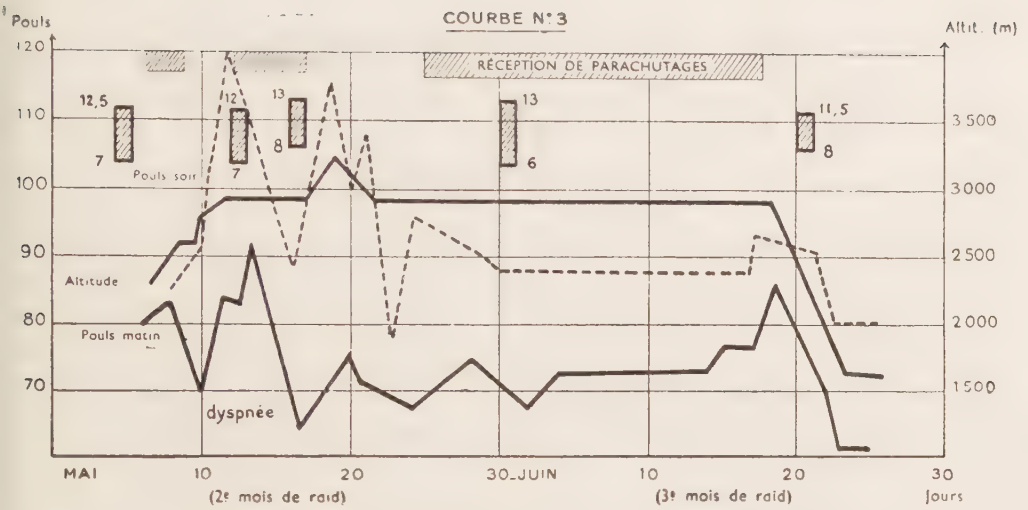


M. G. — 40 ans ; montagnard ; capacité pulmonaire : 3.90 l.

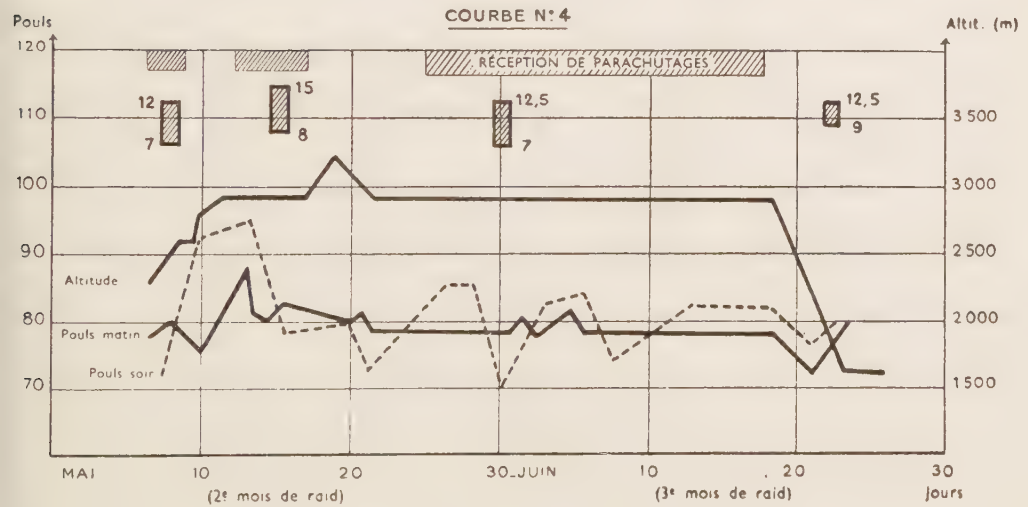


M. C. N. — 30 ans ; non sportif ; capacité pulmonaire : 5 l.

Fig. 4 (1-2)

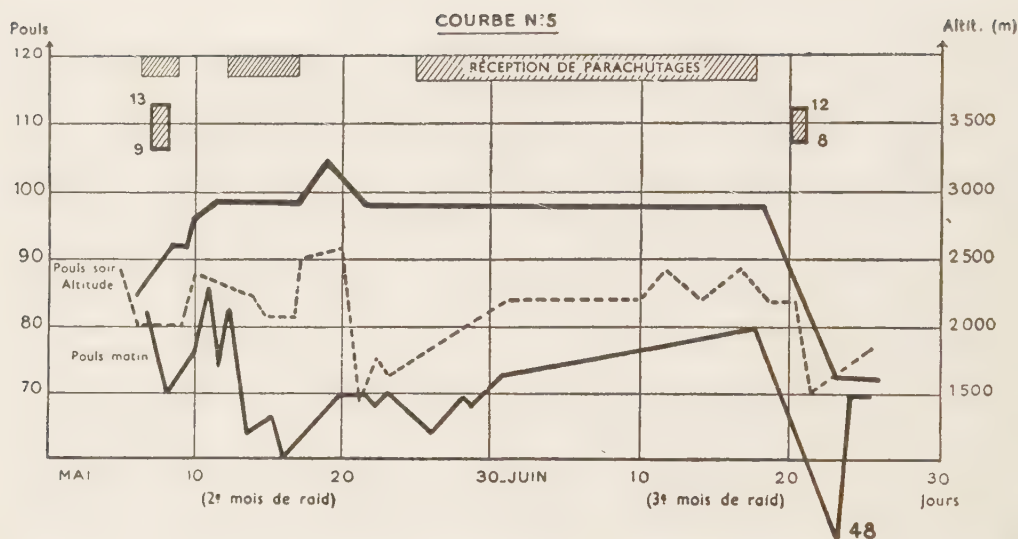


H. B. — 24 ans ; non sportif ; capacité pulmonaire : 4,40 l.

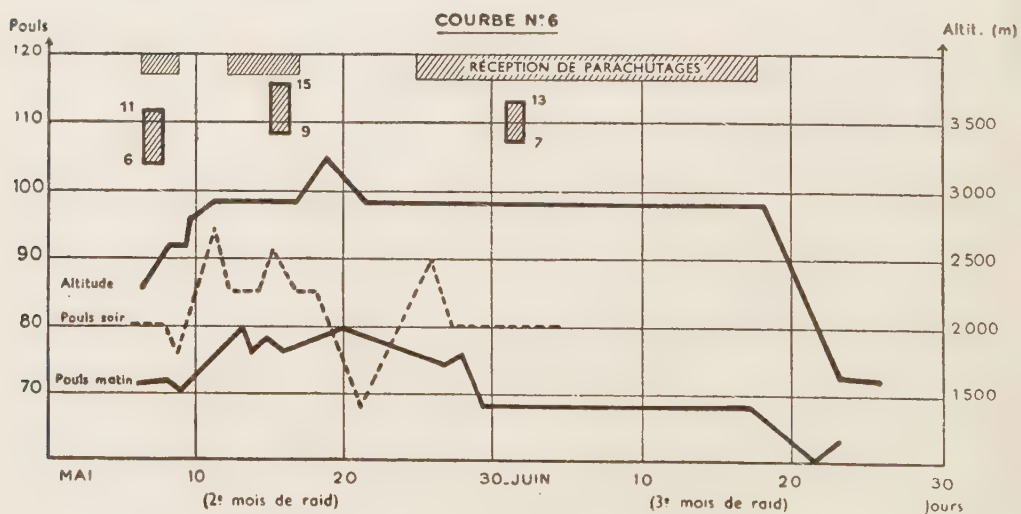


M. L. — 29 ans ; non sportif ; capacité pulmonaire : 5,04 l.

Fig. 4 (3-4)

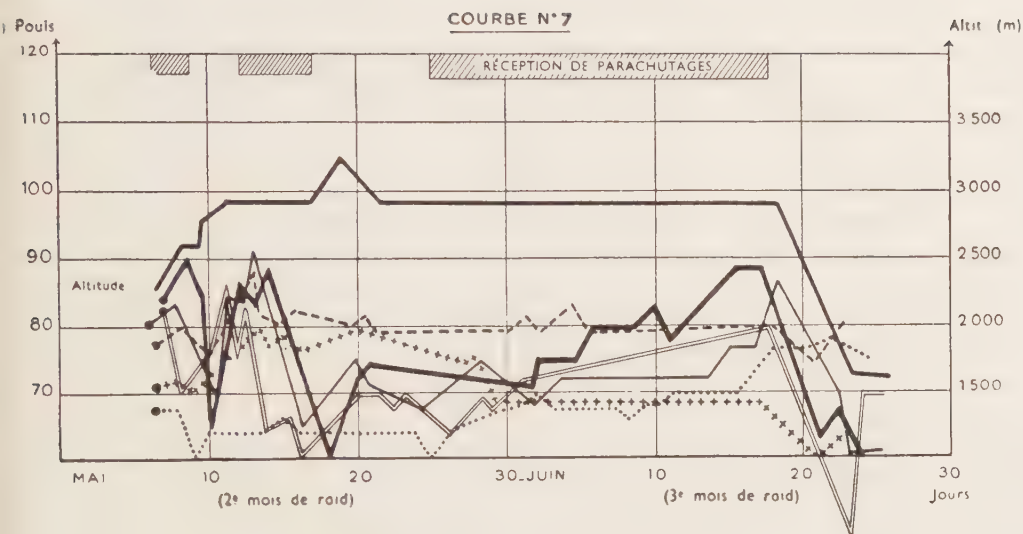


M. AS. — 30 ans ; non sportif ; capacité pulmonaire : 3,50 l.

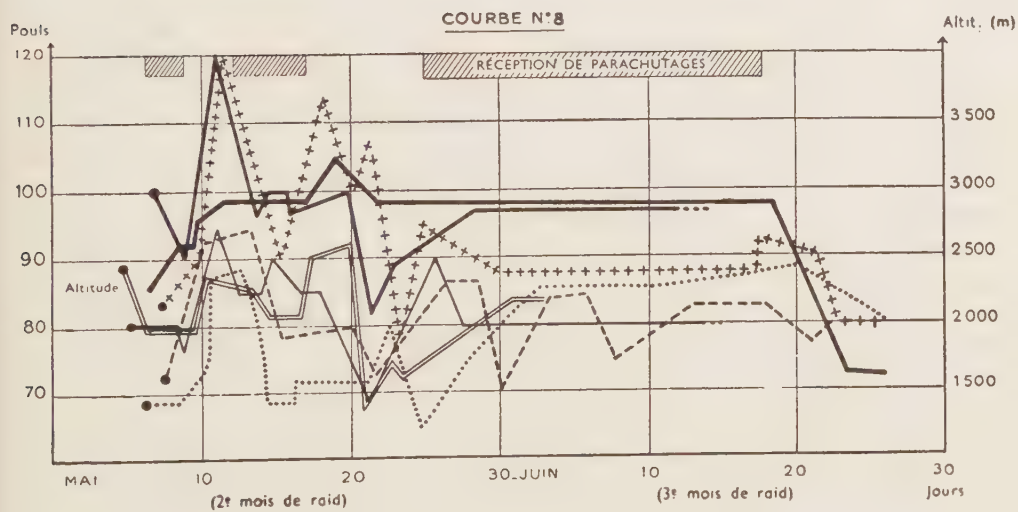


A. P. — 34 ans ; non sportif ; capacité pulmonaire : 3,50 l.

Fig. 4 (5-6)



Pulsations le matin, au réveil, des 6 sujets.



Pulsations le soir, au repos, des 6 sujets.

Fig. 4 (7-8)

2° Pouls à l'effort.

Celui-ci a été étudié par les tests de Schneider et de Crampton. Nous y reviendrons.

Outre l'extrême variabilité du pouls, se traduisant par une tachycardie au moindre effort, nous avons noté une augmentation de la durée de retour du pouls à la normale.

Ces deux troubles ont été mis en évidence lors des incidents suivants :

Le 6 mai 1959 : M. B. G..., 24 ans, à la suite d'une course forcée, derrière un parachute entraîné par le vent, présentait une *tachycardie* à 125 avec dyspnée intense, polypnée, nausée et lipothymie. L'altitude était alors de 2 500 m. Après 10 minutes d'oxygénation au masque, à un débit de 3 litres/minute, son pouls est encore de 118 pulsations (P.A. = 13-10) ; 45 minutes après l'effort, pouls à 104.

Cet incident qui fut le premier signe, en date, de mauvaise tolérance à l'altitude, fut le symptôme d'alarme incitant chacun à adopter un nouveau comportement : éviter de courir, graduer ses efforts, diminuer la ration de tabac, ce que chacun fit d'ailleurs spontanément.

Les jours suivants, le sujet garda une sensation de malaise, fait de lassitude, céphalée, crampe diaphragmatique, et une expectoration d'origine bronchique probablement réactionnelle à l'inhalation brutale d'air froid.

Il persistait par ailleurs chez lui, une sensibilité accrue à l'effort et à l'anoxie. Le lendemain de l'incident, nous lui trouvions, après une marche lente de 100 mètres, un pouls à 144. Après une heure de repos, il était revenu à 88. Après 10 minutes d'oxygénation (et de repos...), on notait 60 pulsations.

Le même incident survint le même jour et dans les mêmes circonstances, chez M. C... qui, après une course rapide de 100 mètres, présentait un pouls à 136 (P.A. = 11-9).

Après 10 minutes d'oxygène, et 45 minutes de repos, son pouls était encore de 120 pulsations/minute. Certes l'oxygène diminue, dans les premières minutes, la sensation d'étouffement et de constriction angoissante, mais il ne semble pas qu'il ait très nettement agi sur la rapidité du rythme cardiaque.

D'autres mesures du ralentissement du pouls ont été effectuées le 3 juin 1959. A la suite du repas du soir (café, tabac) mais à la fin d'une journée de repos, à 2 850 m d'altitude, on note chez M. P... un pouls à 88, 10 minutes après 84, 20 minutes plus tard 86, 30 minutes plus tard 80.

Ralentissement qui semble normal, après diverses oscillations.

Le même jour. — A l'issue du même repos, on note chez M. C... un pouls à 96, 10 minutes plus tard 92, 60 minutes après 82.

Le 26 mai 1959. — M. C. M... à 2 850 m d'altitude, le soir, présente au repos, un pouls à 80; après 5 minutes d'oxygène au masque, pouls à 80; debout, depuis deux minutes, pouls à 108; debout, mais sous oxygène, pouls à 100.

Le 3 juin enfin, à la fin du repas du soir (café, tabac), ses pulsations sont à 112, 10 minutes plus tard à 112, 20 minutes plus tard à 108, 30 minutes plus tard, et après 10 minutes d'oxygénation, son pouls est toujours à 108; enfin, 1 heure plus tard, pouls à 108.

On remarquera déjà, que chez nos sujets, légèrement sous-oxygénés, et compte tenu de la lutte contre le froid, existe une susceptibilité cardiaque anormale et une accélération excessive du rythme aux moindres sollicitations : marches rapides, digestion, usage du café et du tabac :

— le retour à la normale est plus long qu'il ne le serait en milieu normal;

— *l'oxygène* joue un rôle de freinateur modéré :

a) lorsque cette tachycardie est due à un effort physique tel que marche, course et même orthostatisme; alors que celle provoquée par exemple par l'usage du café n'est pas influencée;

b) lorsque cette tachycardie est très élevée. Ainsi l'oxygénation du sujet présentant, au repos, un pouls à 80 n'entraîne aucun ralentissement.

En un mot, l'oxygène n'est pas un freinateur dynamique du cœur, mais semble agir sur la tachycardie directement imputable à sa baisse de pression. Aussi cet effet est-il ici minime, du fait de l'altitude modérée (2 850 m). Rappelons enfin que ces sujets, au 2^e mois de leur raid, étaient encore en pleine période d'acclimatation.

B) RESULTATS DES TESTS CLINIQUES

I. — Test de Schneider.

	Dates		30 mai 1959	22 juin 1959	8 juillet 1959	11 juillet 1959
	Altitude	Paris	2 850 m	1 560 m	2 900 m	2 450 m
Age moyen 31 ans	R.G.	15	15	16	—	—
	C.N.		13	14	—	—
	A.P.		4	12	—	—
	B.G.		6	14	—	—
	A.L.		15	14	—	—
	G.A.		—	15	—	—
	chiffre moyen		10,6	14,30	12,3	
Age moyen 44 ans	B.F.		—	—	12	—
	P.V.		—	—	11	—
	M.R.		—	—	14	14
57 ans	M. BR.		—	—	12,5	—

Nous analyserons plus loin les composantes de ces notes, afin de les interpréter.

II. — Test de Crampton.

	Dates		30 mai 1959	22 juin 1959	8 juillet 1959	11 juillet 1959
	Altitude	Paris	2 850 m	1 560 m	2 900 m	2 450 m
Age moyen 31 ans	R.G.		80	95	—	—
	C.N.		90	85	—	—
	A.P.		45	—	—	—
	B.G.		35	85	—	—
	A.L.		80	75	—	—
	G.A.		70	90	—	—
	moyenne		66 %	71 %		78 %
Age moyen 44 ans	B.F.		—	—		80 %
	P.V.		—	—		65 %
	M.R.		—	—		85 %
57 ans	M. BR.		—	—		85 %

EXEMPLE DE TEST DE SCHNEIDER.

	Noms	Pouls couché	TA couché	Pouls debout	TAMx debout	15 s	1 mn	90 s	2 mn	Note
30 mai 1959 2 850 m	A.L.	68	12,5-8	88	13,5-9	92	88	84	84	15
	B.G.	80	11-6	94	9,5-6	118	104	100	100	6
	R.G.	68	11,5-7	86	12,5-9	96	78	76	76	15
	C.N.	80	12,5-10	90	14-10	128	108	86	92	13
	A.P.	82	13-7	110	13-7	136	108	104	100	4
22 juin 1959 1 560	G.A.	60	13,5-8	70	14,5-9	92	68	68	—	16
	R.G.	72	13-9	80	14-9	96	76	74	—	16
	B.G.	72	11,5-8	88	12,5-8	104	80	76	82	14
	A.L.	76	12,5-10	88	13-10	92	88	84	—	14
	C.N.	64	11-7	80	12-8	92	84	86	80	14

III. — Test d'Apnée.

Noms	Capacité pulmonaire	6 mai 1959		23 mai 1959		22 juin 1959		Progrès réalisé	
		2 451 m		2 850 m		1 560 m		en 48 jours	en 30 jours
		Apnée Expir.	Apnée Insp.	Apnée Expir.	Apnée Insp.	Apnée Expir.	Apnée Insp.	Apnée Expir.	Apnée Insp.
R.G.	31,90	14 s		16 s	37 s	47 s	52 s	33 s	15 s
C.N.	51	11 s		13 s	33 s	20 s	47 s	9 s	14 s
A.P.	—	19 s	—	22 s	87 s	—	—	—	—
B.G.	41,40	11 s		13 s	38 s	15 s	46 s	4 s	8 s
A.L.	51,04	12 s		16 s	32 s	25 s	38 s	13 s	6 s
G.A.	31,50	14 s		12 s	30 s	18 s	52 s	4 s	22 s
Moyenne		13,5 s	—	15,3 s	42,8 s	25 s	47 s	12,6 s	13 s

IV. — Test de Plas.

Dates	Noms	7 mai 1959	23 mai	22 juin	Paris
Altitude		2 451 m	2 850 m	1 560 m	
Age moyen des sujets 31 ans	R.G.	0,92	0,92	1	1,05
	C.N.	0,85	1,09	0,88	
	A.P.	1	0,80	—	
	B.G.	0,83	1,02	0,83	
	A.L.	0,97	0,84	0,85	
	G.A.	0,91	0,89	0,89	
	Moyenne	0,91	0,92	0,89	

V. — Mesure du pourcentage de graisse corporelle.

Par la mesure du pli cutané.

Cette mesure a été faite une seule fois le 15 mai 1959, c'est-à-dire après 45 jours de raid — elle indique :

R.G. — 40 ans — 10,5 %
 C.N. — 30 ans — 10 %
 A.P. — 34 ans — 8,5 %
 B.G. — 24 ans — 9 %
 A.L. — 29 ans — 8 %
 G.A. — 30 ans — 8 %

Rappelons que le chiffre moyen trouvé par Le Bideau, lors d'une enquête sur 150 jeunes sportifs, était de 8 % ; Newmann, chez des jeunes blancs, cite un chiffre moyen de 7,4 %.

C) RESULTATS INDIVIDUELS GROUPES

1° R.G. — Chef technicien.

Age : 40 ans.

Fumeur habituel : 20 cigarettes par jour.

Sportif ancien, et montagnard durant 10 ans.

A participé à de nombreuses expéditions polaires.

Capacité pulmonaire : 3,90 l.

Pourcentage de graisse corporelle : 10,5 %.

	7 mai	23 mai	30 mai	22 juin	
	2 451 m	2 850 m	2 850 m	1 560 m	Moyenne
	37 ^e jour de raid	53 ^e jour de raid	60 ^e jour	82 ^e jour de raid	
Pouls					
au repos	68	64	68	76	69
T.A.	12-8	14-10	11,5-7	12-8	12-8
Test					
Schneider	—	—	15	16	15,5
Test					
Crampton	—	—	80	95	87
Test Plas	70 — = 0,92 76	74 — = 0,92 80	—	76 — = 1 76	0,95
Apnée					Progrès
Expiration	14 s	16 s	—	47 s	33 s
Inspiration	—	37 s	—	52 s	15 s

2° C.N. — Scientifique.

Age : 29 ans.

Fumeur habituel (2 paquets par jour).

Citadin peu entraîné.

Capacité pulmonaire : 5 l.

Graisse corporelle : 10 %.

	7 mai	23 mai	30 mai	22 juin	
	2 451 m	2 850 m	2 850 m	1 560 m	Moyenne
	37 ^e jour de raid	53 ^e jour de raid	60 ^e jour de raid	82 ^e jour de raid	
Pouls					
au repos	90	76	72	64	75,5
T.A.	14-10	14/9	12-8	14-7	12,7-8,5
Test					
Schneider	—	—	13		13,5
Test					
Crampton	—	—	90	85	87,5 %
Test Plas	92 — = 0,85 108	96 — = 1,09 88	—	60 — = 0,88 68	0,94
Apnée					Progrès
Expiration	11 s	13 s	—	20 s	9 s
Inspiration		33 s	—	47 s	14 s

3° A.P. — Technicien.

Age : 32 ans.

Fumeur habituel.

Sportif modéré.

Habite à 2 000 m d'altitude depuis 2 ans 1/2.

Graisse corporelle : 8,5 %.

70 kg pour 1,72 m.

	7 mai	23 mai	30 mai	22 juin	
	2 451 m	2 850 m	2 850 m	1 560 m	
	37 ^e jour de raid	53 ^e jour de raid	60 ^e jour de raid	82 ^e jour de raid	Moyenne
Pouls					
au repos	72	78	70	64	71
T.A.	11-6	15-9	13-7	—	13-7,5
Test					
Schneider	—	—	4	12	8
Test					
Crampton	—	—	45	—	45 %
Test Plas	72	64	—	—	0,90
	— = 1	— = 0,80	—	—	
	72	80			
Apnée					Progrès
Expiration	19 s	22 s	Blessé		3 s
Inspiration	—	87 s	—	—	?

4° B.G. — Scientifique.

Age : 23 ans.

Non sportif.

70 kg pour 1,68 m.

Graisse corporelle : 9 %.

Fumeur habituel : 20 cigarettes par jour.

Capacité pulmonaire : 4,40 l.

	7 mai	23 mai	30 mai	22 juin	
	2 451 m	2 850 m	2 850 m	1 560 m	
	37 ^e jour de raid	53 ^e jour de raid	60 ^e jour de raid	82 ^e jour de raid	Moyenne
Pouls					
au repos	80-92	70	70	60	70
T.A.	12,5-7	13-8	13-7	11,5-8	12,5 - 7,5
Test					
Schneider	—	—	6	14	10
Test					
Crampton	—	—	35	85	60 %
Test Plas	84	78	—	60	0,89
	0,83 = $\frac{84}{101}$	— = 1,02	—	— = 0,83	
		76		72	
Apnée					Progrès
Expiration	11 s	13 s	—	15 s	4 s
Inspiration		38 s	—	46 s	8 s

5° A.L. — Mécanicien.

Age : 30 ans.

Non sportif.

Graisse corporelle : 8 %.

Fumeur habituel : 16 à 20 cigarettes par jour.

Capacité pulmonaire : 5,04 l.

	7 mai	23 mai	30 mai	22 juin	Moyenne
	2 451 m	2 850 m	2 850 m	1 560 m	
	37° jour de raid	53° jour de raid	60° jour de raid	82° jour de raid	
Pouls					
au repos	78	70	68	78	72
T.A.	12-7	15-8	11,5-7	12,5-10	13-8
Test					
Schneider	—	—	15	14	14,5
Test					
Crampton	—	—	80	75	77,5
Test Plas	88	64		68	
	— = 0,97	— = 0,84	—	— = 0,85	0,88
	90	76		80	
Apnée					Progrès
Expiration	12 s	16 s	—	25 s	13 s
Inspiration		32 s	—	38 s	6 s

6° G.A. — Mécanicien.

Age : 31 ans.

Non sportif.

Fumeur : 40 cigarettes par jour.

Donneur de sang depuis 10 ans.

Capacité pulmonaire : 3,50 l.

	7 mai	23 mai	30 mai	22 juin	Moyenne
	2 451 m	2 850 m	2 850 m	1 560 m	
	37° jour de raid	53° jour de raid	60° jour de raid	82° jour de raid	
Pouls					
au repos	84	70	64	70	72
T.A.	13-9	13-7	—	12-8	12-8
Test					
Schneider	—	—	—	16	16
Test					
Crampton	—	—	70	90	80
Test Plas	86	66		64	
	— = 0,91	— = 0,89	—	— = 0,89	0,90
	94	74		72	
Apnée					Progrès
Expiration	14 s	12 s	—	18 s	4 s
Inspiration	—	30 s	—	52 s	22 s

TROISIEME PARTIE

ESSAI D'INTERPRÉTATION

Avant d'analyser les précédents résultats, il nous a semblé intéressant de tracer la silhouette actuelle de la *fatigue* en général, à la lumière des dernières notions acquises durant ces quelques années.

Considérant que la *fatigue* de la vie polaire n'est qu'une forme clinique de celle-ci, nous allons ensuite analyser les divers facteurs étiologiques permettant de comprendre sa pathogénie.

I. — RAPPEL THEORIQUE : LA FATIGUE

Définition.

Rien n'est plus difficile que de définir la fatigue. S'il est aisé à l'homme de la rue, de la définir, par des critères subjectifs : sensations de lassitude, difficulté à effectuer de nouveaux efforts, voire les actes de la vie courante, il est beaucoup plus complexe, pour le médecin, d'en donner une définition précise et univoque.

— *Cet aspect subjectif* prend une telle importance que Littré n'hésite pas à définir la fatigue comme « un sentiment douloureux d'agir, que cause un travail excessif ou trop prolongé ».

— *L'atteinte fonctionnelle* sera, par contre, l'élément objectif caractérisant la fatigue pour de nombreux auteurs.

Alors que Iotyko assimile la fatigue à une forme mineure de paralysie, Leagrange écrit : « La fatigue chez l'homme sain et normal, est une diminution du pouvoir fonctionnel des organes, provoquée par un excès de travail et accompagnée d'une sensation caractérisée de malaise. »

On reconnaîtra donc à la fatigue deux aspects :

— *subjectif* : sensation de malaise,

— *objectif* : diminution du pouvoir fonctionnel.

Cette dualité explique la difficulté de parvenir à une définition univoque. La fatigue est une expérience vécue. Elle répond à une réalité organique, mais elle est étroitement liée au psychisme du

sujet, en fonction de la représentation que celui-ci en a. C'est pourquoi, elle prend chez le même sujet, ou d'un sujet à l'autre, un aspect tantôt agréable ou bienfaisant, tantôt pénible et déprimant. Elle est donc personnelle et liée au caractère du sujet. On peut même dire qu'elle tend à être conditionnée par l'histoire antérieure du sujet.

C'est pourquoi, de nombreux auteurs s'attachent moins au substrat somatique de la fatigue, qu'à son expression psychique. Nous ne pouvons avoir l'expérience de la fatigue d'un autre; seule la représentation que celui-ci en a, aura une valeur. S'il est impossible de totalement dissocier la fatigue organique, cellulaire, de sa représentation subjective (avec laquelle elle ne présente pas de parallélisme), c'est cette dernière qui compte avant tout.

La fatigue n'est pas un phénomène unique, et le même mot désigne des phénomènes très variés.

Dill écrit fort justement (1933) : « La fatigue n'est pas une entité, mais un mot commode pour désigner des phénomènes variés. L'illusion commune selon laquelle une réalité définie correspondrait au mot fatigue a été à l'origine de beaucoup de confusions. »

Cette confusion est également entretenue par le fait que les uns désignent la fatigue selon ses causes, les autres, selon ses traductions cliniques ou son mode d'expression. Ainsi, le terme de « fatigue musculaire » désigne-t-il pour les uns la fatigue succédant à un effort musculaire; pour les autres, la fatigue se traduisant par une symptomatologie musculaire.

On voit donc que la *fatigue* est un état complexe à mi-chemin entre le normal et le pathologique.

— Elle *succède*, en général, à une activité excessive (musculaire, mentale, métabolique, etc.).

— Elle est le *plus souvent perçue* comme « une nécessité d'interrompre cette activité ».

— *Biologiquement*, elle est caractérisée par « la diminution ou la perte de l'excitabilité du tissu ou des organes » (Chailley-Bert). Cette diminution, qui s'accompagne d'une baisse du pouvoir fonctionnel, est donc localisée, puis tend à se diffuser à l'organisme tout entier. Elle est cumulative et réversible.

— On la *qualifie* de fatigue musculaire, mentale, ou nerveuse, selon son origine supposée, mais en fait, elle conserve sa propre identité, indépendante de ses causes (Jaulmes).

Les multiples formes de cet état, malgré leur infinie variété, trouvent leur unité dans un cadre unique : la Pathologie réactionnelle (M. Albeaux-Fernet).

La fatigue : syndrome réactionnel à l'agression.

« La fatigue peut être considérée comme une réaction globale de l'organisme, qui apparaît à la suite d'agressions mineures ou répétées, par opposition au choc, forme majeure de réponse à des agressions graves. »

Dans cette réponse, toutes les grandes fonctions organiques sont intéressées.

Selon la forme de l'agression, elles le sont inégalement et le tableau clinique prend une allure particulière, en rapport avec les nuisances spécifiques en cause.

Néanmoins, un certain nombre de troubles non spécifiques indépendant des agressions, donnent une certaine unité à l'expression clinique de la fatigue.

L'évolution de la fatigue, enfin, voit alterner des phases oscillantes traduisant la défaillance ou le succès de l'adaptation de l'organisme.

Deux phases essentielles s'en dégagent :

— *Une période d'effort* : d'usure et de dépense (phase catabolique) ;

— *Une période de restauration* grâce aux processus réparateurs (phase anabolique).

Son absence constitue l'aspect le plus grave de la fatigue chronique.

Cette conception est séduisante, car elle rend compte d'un grand nombre de faits, et se trouve confirmée par les données endocrinologiques actuelles. La réponse hormonale de l'organisme à la fatigue est très évocatrice de la réponse non spécifique au stress, telle que l'envisageait Selye.

Les multiples causes de la fatigue (physiques, mentales, nerveuses) y prennent la place de facteurs d'agression. La réponse métabolique et hormonale témoigne de l'effort d'adaptation de l'organisme.

Classification.

D'un point de vue pratique, l'étude de la fatigue intéresse un grand nombre de disciplines : médecine sportive, médecine du travail, psychiatrie, etc.

Du point de vue analytique, on peut étudier la fatigue, à différents niveaux :

— soit au niveau d'un organe, d'un tissu, ou d'un ensemble fonctionnel (muscle) ;

— soit globalement : réaction générale.

Il ne s'agit, répétons-le, que d'une différence de niveau, la fatigue

étant une réaction étendue, dans laquelle interviennent tous les systèmes corrélatifs qui ont pour but de conserver l'homéostasie cellulaire.

Il n'existe pas de fatigue musculaire isolée : l'échelon cellulaire est soit l'aboutissement, soit le terme de toutes formes de fatigue.

L'état de non fatigue est réalisé par l'harmonie des diverses fonctions régulatrices de l'organisme.

La fatigue apparaît, lorsque l'une ou plusieurs de ces fonctions se trouvent débordées, du fait de l'intensité ou de la persistance de l'agression. C'est seulement dans un but de clarté que nous dissociions les phénomènes périphériques et centraux de la fatigue.

LA FATIGUE DU SPORTIF

C'est l'aspect global de la fatigue que considère habituellement le médecin du sport.

Aussi à la notion de fatigue, s'opposera pour lui la notion de « *Forme* ». — La forme est « un état spécial, acquis par l'entraînement, état parapathologique où le sujet utilise au mieux les conditions physiologiques du corps humain tout entier » (Thiebault).

Pour objectiver cet état, on utilise en pratique, une batterie de tests, cliniques et paracliniques, comprenant :

- le poids, la spirométrie, la mesure des périmètres thoraciques;
- les variations du pouls à l'effort, ainsi que de la P.A.;
- l'électrocardiogramme;
- l'étude de l'excitabilité neuro-musculaire;
- la mesure de l'albuminurie et de la glycosurie;
- les tests psychotechniques.

On note en effet que « musculature ne signifie pas performance » et que la pile psychologique joue un rôle important.

Ces tests ont été appliqués à de nombreux sportifs, entre autres, ceux du bataillon de Joinville. Ce sont ceux dont nous nous sommes inspirés.

LA FATIGUE MUSCULAIRE

Elle représente typiquement la fatigue d'un organe, ou plutôt, d'un groupe fonctionnel.

Elle a été le plus souvent étudiée, car la fatigue du muscle est sensible, évidente et mesurable.

De nombreux travaux y ont été consacrés.

Sans parler des mesures ergographiques et de l'étude du muscle isolé, qui semblent aujourd'hui dépassées, nous citerons surtout :

a) LA THÉORIE TOXIQUE : cette théorie classique voit dans la fatigue une *auto-intoxication*. Celle-ci est due :

— à l'accumulation de produits de déchets,

— à l'épuisement des matériaux disponibles.

De nombreuses expériences animales ont conduit à imaginer l'existence de « substances fatigantes » (ceno-toxines) transmissibles à l'animal reposé, par transfusion du sang d'un animal fatigué » (chiens).

En outre, dans le muscle fatigué, eau et sel s'accumulent.

Le glycogène diminue, et surtout, *l'acide lactique* se retrouve en grandes quantités.

Les céno-toxines se comporteraient comme des poisons curarisants (Abelons et Langlois). Celles-ci seraient pour J.-P. Langlois, neutralisées ou détruites par les hormones surrenaliennes.

b) LA THÉORIE ÉLECTRIQUE de Lapicque, vient à l'appui de cette hypothèse. La fatigue entraîne un hétérochronisme entre nerf et muscle et empêche le passage de l'excitation.

Ces théories ont été rénovées, ces dernières années, par *l'étude électrolytique de la contraction musculaire*.

c) THÉORIE MÉTABOLIQUE : Echanges ioniques et métabolisme sont liés dans le même but : les contractions musculaires, puis le repos musculaire.

En voici les données schématiques.

I. — Echanges ioniques.

La contraction musculaire a lieu parce que K^+ quitte la cellule, remplacé par Na^+ , venu de l'espace extra-cellulaire (Feun, Fleckenstein) ;

Au stade du repos cellulaire, lui succédant, il y a restitution de potassium dans la cellule et rejet actif de sodium.

La contraction musculaire est donc un échange d'ions. Elle dépolarise la membrane, en libérant de l'énergie. Sa repolarisation en demande.

Ions Ca^{++} et Mg^{++}

Le calcium joue un rôle essentiel sur le potentiel de repos membranaire. C'est un amortisseur des échanges entre K^+ et Na^+ (Fessard). Il

paraît admis qu'il augmente la perméabilité membranaire et intervient dans la contraction des fibres musculaires.

Lors de la contraction, actine et myosine se combinent (en présence d'A.T.P.).

Pendant la période réfractaire, l'accroissement de potentiel membranaire dû au calcium, favorise la dissociation de l'acto-myosine en actine et myosine.

Le *magnésium* jouerait également un rôle d'amortisseur, protégeant la cellule contre une entrée excessive de Na^+ .

Réglée par cet échange d'ions, la contraction musculaire sera perturbée par toutes causes capables d'entraver cet échange.

La fatigue pourra être due, soit à une insuffisance, soit à un excès de potassium dans la cellule, mais le plus souvent, à l'impossibilité pour celle-ci de rejeter le sodium.

Divers facteurs peuvent influencer ces échanges :

d'une part, l'apport des ions, conditionnés évidemment par l'apport alimentaire;

d'autre part, *différentes substances* agissant sur ces transports d'ions, ou sur l'énergie permettant les échanges ioniques, c'est-à-dire le métabolisme cellulaire.

II. — Métabolisme cellulaire.

a) *rôle du CO_2* : l'équilibre acide-base joue un rôle important dans les échanges ioniques;

— *l'acidification* du milieu appauvrit la cellule en K^+ ;

— *l'alcalinisation* l'enrichit (Arvanitaki); *de fait*, lorsqu'il y a hyperventilation, il semble bien qu'il y ait enrichissement de la cellule en potassium (repolarisation), et l'expérience montre effectivement que l'athlète a une capacité pulmonaire nettement augmentée.

b) *Besoins énergétiques* : La contraction musculaire libère de l'énergie, le repos musculaire en sollicite.

Pour permettre la « récupération », c'est-à-dire la mise en charge de la cellule en potassium, il faut un *anabolisme réparateur*. Cet anabolisme provoque un rejet de sodium (nécessaire à une nouvelle contraction) ce que Hodgkin appelle la pompe à sodium.

Les glucides, les lipides et les protides vont permettre cette activité métabolique, d'autant plus économique qu'elle se fera en présence d'oxygène. Mais, si la réaction dure, si l'agression persiste, si la cellule a besoin d'une énergie plus importante, l'organisme devra faire appel à du glucose de complément grâce à la *Neoglycogenèse*,

à partir des protides et des lipides, d'où intervention d'un mécanisme endocrinien, et de l'acide Adénosine triphosphorique (A.T.P.).

c) *Rôle de l'A.T.P.* : Celui-ci est en effet indispensable à la phosphorylation du glycogène.

L'A.T.P. n'agit pas dans la dépolarisation (contraction) mais dans la *repolarisation*. Il ne favorise pas la contraction, il favorise la récupération.

C'est en outre un puissant réservoir d'énergie qui permet le fonctionnement de la pompe à sodium (Labout).

Les réactions de transformation de l'A.T.P. en acide adénylique libère 24 000 calories.

Aubert et Hamoir ont montré l'importance du système A.T.P.-A.T.P.-ase; ce dernier bloquant l'activité de l'A.T.P. au moment de la contraction. On retrouve là un exemple du rôle du Mg^{++} et du Ca^{++} ; le premier favoriserait directement l'action de l'A.T.P.; le second, indirectement, en inhibant l'A.T.P.-ase.

La connaissance, déjà classique du rôle de l'A.T.P. a naturellement conduit à son utilisation à titre prophylactique, dans la lutte contre la fatigue. Les résultats, objectivés par la surveillance des sujets au rhéotome électronique, sont intéressants.

La fatigue vue sous l'angle de déséquilibre ionique et métabolique, représente finalement une *fatigue cellulaire*, élémentaire. Divers mécanismes de régulation s'y opposeront.

III. — Mécanismes de régulation.

1. RÔLE DU SYSTÈME NERVEUX.

— *Central*, c'est le rôle cortical, dont nous reparlerons à propos du psychisme.

— *Périphérique*, et ce que nous avons dit des échanges ioniques et métaboliques de la cellule musculaire s'applique également à la cellule nerveuse (Hodgkin, Husley, Coomls, Grimdfest et Eccles).

Ceci nous amène à parler des *médiateurs chimiques*.

On sait le rôle, dans la transmission neuro-musculaire de l'acétylcholine, l'adrénaline, la sérotonine qui favorisent la libération de potassium au niveau du tissu nerveux et facilitent la transmission de l'influx. Ce sont donc des *dépolarisants* au même titre que la caféine, la nicotine et la quinine.

A ce sujet, on conçoit que la connaissance de produits (dont l'effet doppant était déjà empiriquement connu) ait représenté une tentation d'emploi, à des doses stimulantes, dans la lutte contre la fatigue; ces substances, utilisées à des doses non physiologiques, après

une courte et violente stimulation métabolique, dépolarisent beaucoup trop brutalement la cellule, sans lui laisser des moyens de repolarisation normale. Leur effet secondaire, bien connu, est préjudiciable au sujet et leur enlève tout intérêt pratique.

2. RÔLE DU SYSTÈME ENDOCRINIEN.

Toutes les glandes endocrines, agissant sur le métabolisme cellulaire et sur les échanges ioniques, auront une répercussion sur la contraction musculaire, donc sur la fatigue.

Les hormones en cause dans la fatigue sont les hormones de l'adaptation de Selye.

Les nombreuses études consacrées aux réactions endocriniennes et métaboliques consécutives à l'effort physique, mettent en valeur le rôle prépondérant du complexe hypophyso-surrénalien.

— en France : Rivoire et coll. (1953) considèrent la fatigue aiguë comme une insuffisance fonctionnelle hypophyso-surrénale.

— à l'étranger : Pincus, Moagland, Elmadjian d'une part, Thorn, d'autre part (1950-1958) reconnaissent également le rôle fondamental de l'hypophyse et du cortex surrénal dans la fatigue, conséquence d'une agression à la fois physique et nerveuse.

Albeaux-Fernet et Bugard (1958-1959) placent la fatigue dans le cadre de l'agressologie, insistant sur l'intérêt des variations hormonales au cours des réactions oscillantes caractérisant celle-ci phase d'usure et phase de restauration.

Les hormones intéressées sont :

1° *Les glycocorticoïdes :*

— cortisol ou hydrocortisone (17 hydroxy),

— la cortisone (17 hydroxy),

— la corticostérone (17 desoxy),

hormones protido-catabolisantes, anti-inflammatoires, plus ou moins rétentrices de sodium et excrétrices de potassium.

2° *Les minéralocorticoïdes :*

L'aldostérone, principale hormone rétentrices de sodium, excrétrice de potassium; pro-inflammatoire, au côté de laquelle existerait un corticoïde voisin, excréteur de sodium.

3° *Les androgènes :*

— Androstéine Dione,

— et 17 cétostéroïdes.

Dans les conditions normales, on sait que ces corticoïdes, d'action antagoniste, sont dans un état d'équilibre.

En cas d'urgence, l'équilibre sécrétoire du cortex surrénal se modifie, afin de répondre « à la demande du moment » — Le processus adaptatif n'est pas isolé, et l'hypophyse, le diencephale, le mésencéphale, les formations limbiques et réticulaires, le système autonome, forment des chaînons indispensables (Albeaux-Fernet).

COMMENT INTERVIENT LE CORTEX SURRENAL DANS LA FATIGUE ?

1° *Dans la fatigue aiguë.*

Le type en est la fatigue du sportif. Elle peut se rencontrer en expéditions, lors d'efforts subits, mais survient généralement sur un fond de fatigue chronique.

Elle se traduit schématiquement par :

a) *La perte de poids*, dans laquelle, on distinguera la perte rapide et précoce, rapidement réparée, correspondant surtout aux mouvements hydriques et la perte plus tardive, correspondant, si l'effort se poursuit, au catabolisme d'effort (protides, glucides et lipides).

b) *L'apparition dans les urines* de substance d'obstacle, muco-protéine dérivée du catabolisme de la substance fondamentale (test de Donaggio). Cette élimination n'apparaît nettement que chez les sujets peu entraînés.

c) *Les variations des corticoïdes :*

— hyperaldostéronisme s'opposant aux fuites hydro-salines,

— *une élévation des glucocorticoïdes*, soit chez les sujets mal entraînés, soit au cours d'un effort très prolongé.

Elle porte davantage sur les 17 desoxy (corticostérone) que sur les 17 hydroxy, et entraîne une baisse du rapport 17 hydroxy/17 desoxy.

Les conséquences en sont : un catabolisme accru, une inhibition de l'A.D.H. accentuant les pertes hydrosodées, une dépolymérisation de la substance fondamentale;

- une chute des 17 céto-stéroïdes, dès que la fatigue devient profonde, tandis que ces hormones anabolisantes remontent au stade de la restauration.

2° Dans la fatigue chronique.

Les asthénies au long cours, physiques et psychiques semblent passer par deux stades :

a) un stade discordant :

Un abaissement de 17 céto et des 17 hydroxy, tandis que les 17 desoxy sont relativement conservés. Si bien que, comme dans la fatigue aiguë profonde, le rapport 17 hydroxy/17 desoxy s'abaisse.

A ce stade, le repos, les anabolisants, la psychothérapie, l'A.T.P., pourront donner une nette amélioration générale et hormonale (Albeaux-Fernet, Bugard et Romani).

b) Un stade d'épuisement voit les corticoïdes s'abaisser ou s'effondrer, simulant l'insuffisance surrénale vraie, sinon que l'ACTH ici, obtient une réponse du cortex.

Ainsi donc, le cortex surrénal apparaît « comme un témoin précieux de la fatigue, même s'il ne joue pas, dans ces phénomènes le rôle de meneur de jeu ».

Il répond aux agressions, par des sécrétions accrues ou modifiées en fonction des besoins.

Si les réponses du cortex sont bien adaptées, la fatigue reste *physiologique*. Les glycocorticoïdes augmentées répondent aux demandes métaboliques accrues. L'hyperaldostéronisme protège les espaces extra-cellulaires. Puis, renversant l'équilibre, le cortex fournit des hormones protido-anabolisantes nécessaires à la restauration des tissus. Enfin, si la fatigue devient *pathologique*, la surrénale secrète inconsidérément des catabolisants ou finit par s'épuiser. La réparation ne se fait plus.

3° Conséquences électrolytiques de ces variations.

Elles consistent avant tout, en un *bilan potassique négatif*.

Celui-ci va de pair avec le catabolisme glucidique et protidique, résulte de l'excrétion accrue de 17 desoxy (corticostérone) et surtout de l'*hyperaldostéronisme*, lequel favorise par ailleurs, une rétention sodée.

On entrevoit la répercussion que pourront avoir à l'échelon cellulaire, ces variations de concentration : fuite de potassium, sans doute couplée avec celle de magnésium, excès éventuel de sodium, entraî-

neront finalement une *dépolarisation cellulaire*, traduction cellulaire de la fatigue.

Telle est *l'image endocrinienne* de la fatigue.

L'effort ou toutes causes d'agression joueront le rôle de « Stress ».

S'ils persistent, ils entraîneront, comme aux phases d'alarme du syndrome d'adaptation un excès désordonné, puis une insuffisance des sécrétions hormonales (hypophysaires, surrénaliennes, et gonadiques).

Il s'en suivra des altérations métaboliques que l'on sait : catabolisme accru, anabolisme insuffisant, pertes hydriques et électrolytiques non compensées, tensions nerveuse et émotionnelle. Une partie des manifestations cliniques de la fatigue rendent compte de ces perturbations : la soif, l'anorexie, la perte de poids, l'insomnie, mais ces perturbations endocriniennes ne résument pas la fatigue. Elles font partie de la chaîne régulatrice qui, du cerveau à la cellule musculaire, maintient l'homéostasie du milieu.

Sans anticiper sur le chapitre suivant, il est aisé d'imaginer les applications de ces données, à la fatigue polaire, telle que nous l'étudions. La sollicitation surrénale y sera d'autant plus en cause, que le froid, l'altitude, l'effort physique, y font appel.

Si cette sollicitation est excessive, en durée ou en intensité, les troubles métaboliques peuvent lui succéder, la réparation ne pas se faire, et le sujet se placer en état de *dépolarisation*.

4° *Contrôle expérimental.*

Toutes ces données ont reçu une confirmation expérimentale, dans un travail du laboratoire du professeur Soulas, dont nous citerons brièvement les résultats.

Les auteurs étudient les variations de la résistance à la fatigue, chez le rat (épreuve de la nage) en modifiant l'apport et la concentration d'un certain nombre de facteurs alimentaires.

a) *Appauvrissement en Na^+ .*

Epuisement plus précoce chez les sujets préparés que chez les témoins; mais meilleure récupération.

b) *Enrichissement en Na^+ .*

Epuisement plus tardif, mais moins bonne performance après 2 h 30 (récupération plus difficile).

c) *Enrichissement en K^+ .*

Amélioration nette sur deux épreuves successives. L'ion K favorise la contraction musculaire, intensifie les processus oxydatifs et la synthèse de l'acétylcholine. Ce résultat est le plus net.

d) *Enrichissement en Ca^{++} .*

Amélioration légère.

e) *Enrichissement en Mg^{++} .*

Amélioration légère.

f) *Action des vitamines B2, B6, B12 et C.*

Aucune de ces vitamines n'a donné de résultat probant. Notons à ce propos, que la vitamine C considérée longtemps comme vitamine de l'effort, ne donne pas de résultats concordants. A haute dose, elle facilite sans doute le fonctionnement de la cortico-surrénale. Mais elle entraîne alors une acidose, aboutissant à des crampes musculaires et sans doute, une dépoléarisation.

Thiebault rapporte néanmoins son utilisation chez onze sujets suivis au rhéotome électronique. A la dose de 250 mg/jour, il obtient des résultats satisfaisants.

g) *Action du coenzyme A.*

Amélioration très nette de la récupération (2^e épreuve des sujets préparés).

h) *Action du glucose, de l'A.T.P. et de l'acide glutamique.*

L'amélioration due au glucose est assez modeste. Celle due à l'A.T.P. et à l'acide glutamique est plus nette sans être spectaculaire,

i) *Action des sels de l'acide aspartique.*

Les meilleurs résultats sont obtenus avec l'aspartate de K, administré la veille, et avec la préparation aspartate de K + aspartate de Mg + A.T.P.

Son rôle est d'abord énergétique.

L'acide aspartique, en donnant de l'acide oxalo-acétique est utilisable dans le cycle tricarboxylique et l'intérêt de processus oxydatifs intenses est bien connu, pour assurer l'échange ionique de la contraction musculaire, mais l'auteur estime qu'il ne s'agit pas seulement d'un simple apport énergétique, les quantités employées étant très faibles.

Il lui reconnaît :

— une action sur l'ammoniémie, élevée au cours de la fatigue, et favorisant sa transformation en urée; une action sur l'équilibre acide-base, par l'utilisation de CO_2 et de NH_3 dans le cycle de l'urée.

Quoi qu'il en soit, l'utilisation des sels de l'acide aspartique chez l'homme, paraît d'un grand intérêt dans la prévention de la fatigue et son traitement.

Utilisés chez 44 sportifs, surveillés au rhéotome électronique, M. Thiebault obtient d'excellents résultats avec l'aspartate de K associé à l'A.T.P., les résultats obtenus avec l'aspartate ou l'A.T.P. seuls étant superposables et moins nets. Les formes associées semblent donc plus intéressantes.

En résumé : pour qu'il y ait *bonne contraction musculaire*, il faut qu'il y ait :

- une bonne charge cellulaire en K^+ ;
- une quantité appréciable, mais *non excessive* de Na^+ extra-cellulaire ;
- une polarisation moyenne de la membrane cellulaire, réalisée par la présence du Mg^{++} et un pH convenable ;
- il faut aussi que *l'intégrité métabolique* soit respectée, grâce à des apports riches en glucose, à une oxydation correcte donc un bon fonctionnement pulmonaire et rénal, à des substances à haut pouvoir calorigène (A.T.B.), à des substances agissant par l'intermédiaire du cycle de Krebs (série des aspartates en particulier).

II. — UN TEST PRATIQUE DE L'ETUDE DE LA FATIGUE : LA MESURE DE L'EXCITABILITE NEURO-MUSCULAIRE

Parmi tous les tests cliniques mis au point pour le contrôle de la fatigue, peu répondent à des critères objectifs satisfaisants.

Les modifications du pouls et de la T.A. à l'effort, qui sont à la base de la plupart des tests utilisés en contrôle sportif mesurent davantage l'état général du sujet et la réponse cardio-vasculaire à l'effort, que la fatigue proprement dite.

Depuis quelques années, l'étude de la fatigue musculaire s'est enrichie d'une méthode objective fondée sur les variations de l'excitabilité neuro-musculaire (E.N.M.).

Cette méthode qui dérive des travaux de *Lapicque* (1926) a été appliquée de façon systématique par Moynier (1956) à des athlètes en entraînement contrôlé (sapeurs-pompiers de Paris).

Déjà en 1956, G. Laborit dans sa thèse *Excitabilité neuro-musculaire et équilibre ionique* montrait que, sur le nerf et le muscle squelettique, un bilan potassique fortement négatif entraînait un abaissement de l'E.N.M. et que tout enrichissement du milieu intracellulaire en potassium provoquait une augmentation de l'excitabilité du nerf et du muscle squelettique.

L'année suivante, Albeaux-Fernet, Bugard et Romani confirmaient la valeur de cette méthode par une étude comparée des variations hormonales et métaboliques et de l'E.N.M. au cours de la fatigue.

« L'excitabilité est la capacité propre à la matière vivante de répondre par un changement intérieur à une variation énergétique du milieu ambiant. »

Elle dépend de l'équilibre ionique, notamment de la proportion de K^+ des deux côtés de la membrane.

La mesure de cette excitabilité renseigne donc d'abord sur cet équilibre ionique (et l'on sait maintenant son importance dans la fatigue) et sur les variations surréaliennes qui l'accompagnent indirectement.

C'est pourquoi, Albeaux-Fernet applique cette mesure à divers états endocrino-métaboliques : hyper et hypocorticisme, myxoedème, etc.

Au cours des hypercorticismes par exemple, avec bilan potassique négatif, il note une hypoexcitabilité, alors que l'on note l'inverse dans les hypocorticismes.

L'accroissement de la concentration du K^+ n'augmente pas indéfiniment l'excitabilité. L'intoxication potassique, la surcharge massive du muscle en potassium, tendent vers l'inexcitabilité, au même titre que la déplétion potassique extrême.

Schématiquement : la fatigue peut répondre à 2 stades biologiques opposés :

Surpolarisation : Excès modéré de K^+ ; Insuffisance de Na^+ — elle se traduit par une hyperexcitabilité.

Dépolarisation : Excès de Na intra-cellulaire surtout, fuite potassique se traduisant par une hypoexcitabilité.

Il est permis de penser que l'hypoexcitabilité de l'asthénie et de la fatigue chronique, témoigne d'une faible charge potassique. Celle-ci peut être attribuée à l'excès de 17 desoxycorticoïdes par rapport aux 17 hydroxy (dissociation mise en évidence biologiquement) ainsi qu'à l'hyperaldostéronisme.

Allant plus avant, M. Laborit considère que la mesure de l'E.N.M. apparaît avant tout comme un moyen d'exploration de *l'intensité et de l'efficacité* des processus métaboliques cellulaires.

Les renseignements fournis sur les charges ioniques intra et extra-cellulaires, ne sont que secondaires aux *variations d'intensité du métabolisme*.

Autrement dit, si une cellule nerveuse ou musculaire est inexcitable, qu'elle soit trop riche ou trop pauvre en K; trop polarisée ou trop dépolarisée, l'intensité de son métabolisme est diminuée, ou ses mécanismes oxydatifs perturbés.

Inversement, l'accroissement des processus métaboliques provoque une augmentation de l'E.N.M.

Dans tous ces cas, une repolarisation de la membrane ou une dépolarisation de celle-ci obligent les processus métaboliques à s'intensifier, pour rétablir une polarisation moyenne.

Ceci explique les différences constatées entre les courbes d'excitabilité d'un nerf et de son muscle homologue.

Elles relèvent des différences probables de la vitesse à laquelle s'effectuent les processus métaboliques des deux éléments observés (décallement des 2 courbes). Telle peut être grossièrement résumée la signification biologique des variations de l'E.N.M.

Applications pratiques.

On utilise un générateur électronique de signaux rectangulaires, de durées et d'intensités précises. (Rhéotome électronique du type Pluven et Guiot).

Appliquant le stimulus électrique au niveau du point moteur du muscle considéré et de son nerf homologue, on note sur un graphique à échelle logarithmique, les intensités liminaires, correspondant à des temps croissants, intensités nécessaires pour obtenir une réponse musculaire.

On obtient ainsi une courbe intensité-durée, exprimant l'excitabilité électrique du muscle et du nerf en fonction du temps (0,1 ms à 300 ms).

Le tracé comporte trois éléments :

- *droite des temps longs*, ou rhéobase, pour laquelle l'intensité liminaire reste égale (pour Laborit, elle correspondrait particulièrement au taux de concentration potassique) ;
- *droite des temps moyens* (1 ms à 30 ms) où certains voient l'influence de la concentration en magnésium ;
- *droite des temps courts* (1 ms à 0,1 ms) elle serait influencée par le taux de calcium.

Les réponses ont une amplitude proportionnelle à la durée du stimulus.

Résultats.

La courbe *Intensité-Durée Normale* a été définie par un grand nombre de courbes effectuées chez des sujets jeunes, reposés, et en bon état général.

Normalement, la courbe d'excitabilité du nerf se trouve située *au-dessous* de celle de son muscle homologue.

Le nerf apparaît donc plus excitable que le muscle (fig. 5).

— Plus la différentielle nerf-muscle est grande, meilleur est l'état fonctionnel du sujet.

— Inversement, le pincement de la différentielle apparaît dans la fatigue (fig. 6) avec l'hypoexcitabilité du nerf.

— Le pincement peut aller jusqu'à la superposition des courbes, puis à leur inversion, le nerf étant alors moins excitable que le muscle.

— Enfin, après une *fatigue prolongée*, on constate un décalage vers le haut des deux courbes (inversées), traduisant une hypoexcitabilité globale.

Le sujet à l'optimum de l'entraînement, est donc « l'antithèse du fatigué chronique ». Son tracé est caractérisé par une hypoexcitabilité du muscle (rhéobase élevée) et une hyperexcitabilité du nerf (rhéobase abaissée). Le sujet, fatigué ou surmené, présente un tracé pincé, le pincement de l'intervalle traduisant la mauvaise tolérance à l'effort.

Des altérations morphologiques enfin, peuvent se voir; tracés en lignes brisées, ou en paliers. Ce ne sont souvent que des stades évolutifs vers une hypoexcitabilité ultérieure, et leur signification, dans la fatigue, est celle d'une altération métabolique certaine.

On notera que les résultats de l'examen électrique concordent avec les données biologiques de la fatigue, une déperdition potassique importante, un ralentissement des échanges cellulaires, que l'on retrouve dans la fatigue, entraînent bien l'apparition d'une hypoexcitabilité.

On considère comme normale une rhéobase musculaire de $2,27 \pm 0,59$ mA pour l'opposant du pouce et de $3,04 \pm 0,63$ mA pour le jambier antérieur.

L'écart type élevé montre bien l'importance des facteurs individuels; résistance électrique de la peau, rôle de l'épaisseur de celle-ci, de l'œdème, de l'humidité et du froid, c'est-à-dire que ces tracés ne prennent de valeur que comparativement chez le même sujet, ou chez un grand nombre de sujets.

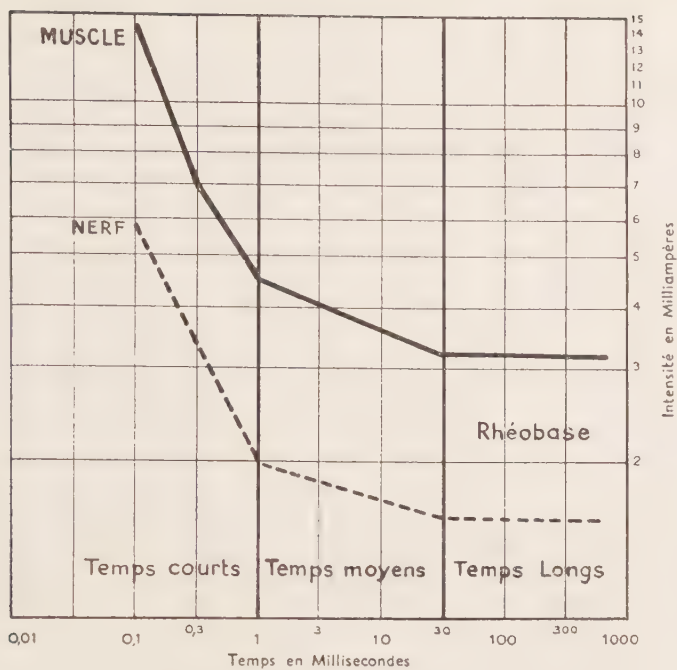


Fig. 5. — Courbe du sujet normal.

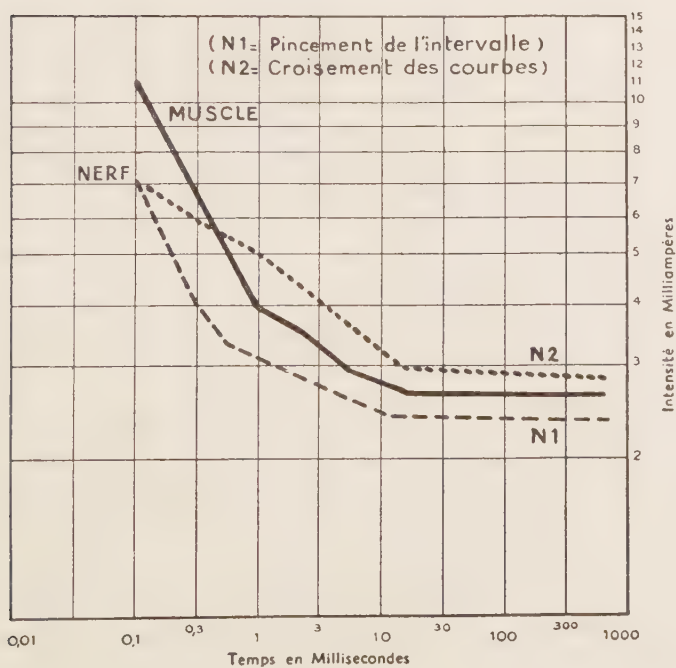


Fig. 6. — Courbe du sujet fatigué.

En résumé : la mesure de l'E.N.M. à l'aide du rhéotome électronique permet dans des conditions de rapidité et de maniabilité suffisantes, une surveillance de la fatigue périphérique et générale d'un sujet à ses divers stades : apparition, persistance ou régression; ainsi que l'influence sur elle de divers agents thérapeutiques (A.T.P.-Aspartates).

Conclusion.

Il est possible de tenter la *synthèse des divers aspects* que nous venons d'envisager, et de dresser le *tableau clinique et biologique du sujet moyennement fatigué* tel que l'on peut s'attendre à le rencontrer en expédition, au 2^e ou 3^e mois. Tableau théorique, puisqu'il suppose la coexistence de tous les symptômes chez un même sujet, et qu'il ne tient pas compte de l'incidence des stress particuliers : altitude, isolement, refroidissement, qui peuvent l'aggraver.

Le tableau comportera :

1) DES SIGNES CLINIQUES

Généraux : *perte de poids* avant tout (déshydratation et catabolisme des réserves), *soif*, *anorexie*;

Système nerveux :

- *Insomnie*, ou *hypersomnie* selon le *stade*,
- *baisse* de la *sensibilité épicrotique*,
- *augmentation* de la *sensibilité douloureuse*,
- *troubles* du *caractère* (*irritabilité*, ou *indifférence*),
- *troubles* du *jugement* (*altéré*),
- *troubles* de la *coordination*,
- *bradypsychie* (que nous n'avons pas rencontrée) ;

Systèmes musculaires : *crampes classiques* et *courbatures*.

Systèmes cardio-vasculaires :

- *La P.A.* élevée au début, s'abaissant rapidement chez le sujet peu entraîné à l'effort,
- *Le Pouls* irrégulier, *tachycardie* au moindre effort,
- *Vaso-constriction*, s'opposant imparfaitement à la *déshydratation* et à la *perte de chaleur*;

Systèmes rénaux : classiquement, la *baisse* du *pH sanguin*. *Albuminurie* élevée et *excrétion azotée* augmentée, *baisse* de la *réserve alcaline*.

2) LE SYNDROME HUMORAL

Métabolique : traduit essentiellement : la déshydratation, le catabolisme.

Il comprend :

- la perte de l'eau (extra-cellulaire),
- la baisse de la kaliémie, avec kaliurie exagérée,
- la baisse de la chlorémie et de la natrémie avec excrétions urinaires accentuées,
- baisse de la glycémie,
- baisse de l'urée sanguine, avec hausse de l'azote total dans les urines;

Hormonal :

- baisse des 17 cétostéroïdes et des 17 hydroxy dans les urines,
- baisse du rapport 17 cétostéroïdes sur 17 hydroxy,
- augmentation des métabolites de la corticostérone,
- baisse du rapport 17 hydroxy sur 17 desoxy,
- apparition de mucoprotéines urinaires (Donaggio),
- élévation, puis baisse de l'uropepsine,
- enfin, élévation de l'aldostérone.

Toutes réactions caractérisant la phase *d'usure* de la fatigue, par opposition aux phénomènes de restauration.

3) DES SIGNES ÉLECTRIQUES.

Pincement, déformations, et croisement des courbes d'E.N.M., évoluant vers l'inversion des courbes nerfs-muscles, et une hypo-excitabilité globale.

III. — PARTICULARITES DE LA FATIGUE EN REGIONS POLAIRES (Facteurs d'agression)

Nous n'avons considéré jusqu'ici que la fatigue en général, dont le type est la fatigue engendrée par l'effort physique.

Or, nous l'avons vu, la fatigue peut être la réponse à de nombreux facteurs étiologiques très différents : tension nerveuse, émotions, effort intellectuel, refroidissement, altitude, déséquilibre alimentaire, etc. Les uns sont des agents d'agression directs, les autres des facteurs favorisants. Il est parfois difficile de faire la part de tel ou tel facteur lorsque plusieurs d'entre eux, minimes s'ils sont isolés, conjuguent leurs effets pour provoquer une réaction d'ensemble imprévisible.

Il en est ainsi de la fatigue en régions polaires. Certes, l'effort musculaire quoique nécessairement modéré joue un rôle, mais surtout *l'environnement* fait que cet effort, qui serait parfaitement supporté en milieu favorable, devient beaucoup plus agressif du fait du milieu polaire. C'est ce qui fait l'originalité de la fatigue polaire, cette juxtaposition de conditions climatiques, psychiques et physiques hostiles qui donnent à cette fatigue leur empreinte particulière.

Ainsi allons-nous rapidement analyser les caractéristiques essentielles de ce milieu, en tentant de dégager la responsabilité pathogénique de chacun d'eux dans la genèse de la fatigue.

Nous verrons successivement le rôle : du froid, de l'altitude, du travail, du régime alimentaire, des facteurs psychologiques enfin, auxquels nous consacrerons un chapitre, tant leurs éléments moins connus, nous paraissent d'importance.

LE FROID

Nos sujets étaient exposés à des températures extrêmes de -45° à -7° , suivant les mois et les heures du jour.

Les caravanes n'étaient pas chauffées, mais dans les weasels en marche régnait une température ambiante confortable ($+12^{\circ}$, $+15^{\circ}$). Cet avantage était contrebalancé par le changement brutal de température que devaient subir les individus chaque fois qu'ils sortaient ou rentraient dans les véhicules.

Un changement brusque de 30° ou 40° de température n'était pas

rare, et constituait certainement pour les hommes une agression sévère.

Le maintien de la température centrale propre aux homéothermes, n'est pas un acte gratuit. C'est un acte fort coûteux qui représente un effort de tout l'organisme, et des dépenses accrues. La lutte contre le froid est donc en elle-même un facteur prédisposant le sujet à la fatigue, voire une cause directe de fatigue.

Pour quel mécanisme ? Sans reprendre en détail l'étude de la régulation thermique qui sort du cadre de ce travail, rappelons seulement que celle-ci est assurée par deux mécanismes : la régulation physique et la régulation chimique.

1. — La régulation physique.

Est peu coûteuse.

Elle lutte contre la déperdition par une vasoconstriction périphérique, généralisée à tout le corps, même lorsqu'une partie seulement de celui-ci est exposée, ce qui était le cas pour nos sujets, naturellement.

Cette artério-constriction périphérique s'accompagne, on le sait, d'une vaso-dilatation centrale. La régulation physique s'oppose également aux pertes par convection, rayonnement et conductibilité (rôle de la peau, de la graisse, de l'eau et des vêtements).

L'équipement vestimentaire de notre expédition s'inspirait des dernières techniques de protection vestimentaire au froid : utilisation de plusieurs couches superposées, emploi de sous-vêtements perméables, du duvet; recherche de vêtements souples et amples; rejet des tissus imperméables.

L'évaporation représente une perte calorique contre laquelle il est difficile de lutter. La transpiration, que le vêtement perméable absorbe, et surtout la *perspiration* qui peut atteindre jusqu'à 1 000 g par jour, représente pour certains 10 % de la perte thermique.

L'altitude, et l'*abaissement du degré hygrométrique* de l'air, favorisent cette perte par perspiration. L. Binet a montré le rôle de l'eau dans la lutte contre le froid. Si l'on refroidit un homéotherme, on note une concentration du sang. L'eau est mobilisée pour se fixer au niveau de la peau, du tissu cellulaire sous-cutané et des muscles, pour isoler en quelque sorte les tissus profonds.

2. — La régulation chimique.

Elle s'avère beaucoup plus dispendieuse. On le comprend aisément. Au cours d'une réfrigération violente et courte en durée, l'homme peut multiplier jusqu'à 10 sa production calorique (J. Lefèvre et expériences de Dachau).

Si la température ambiante s'abaisse, l'homme au repos substitue à son métabolisme de base un métabolisme de sommet qui peut atteindre 6 000 calories par 24 heures, effort consacré presque entièrement à la production de chaleur.

D'une façon générale, l'homme réalise cette augmentation de sa thermogénèse par une accélération de ses combustibles, d'où *augmentation de la consommation d'oxygène* au niveau des muscles et des tissus. Au niveau du muscle, c'est le classique *Frisson thermique* (Ch. Richet). Ce frisson, réflexe, puis central, peut réaliser pour Cannon 60 à 90 % du réchauffement. Localisé aux masticateurs, puis à l'ensemble des muscles, il entraîne un réchauffement rapide, que l'on attribue soit au travail musculaire lui-même, soit aux modifications chimiques du métabolisme cellulaire du muscle.

De toute façon, le prix de cette thermogénèse est celui de combustions accélérées : *besoins accrus en oxygène* d'où polypnée et échanges respiratoires augmentés. *Besoins en glucose*, et l'on sait le rôle capital du glycogène mis en évidence par la baisse du glycogène hépatique chez les sujets exposés depuis longtemps au froid, tandis que le glucose sanguin augmente.

Au besoin accru en oxygène, correspond en altitude un apport réduit, du fait de la baisse de pression de l'oxygène.

A cette diminution d'apport s'ajoute enfin la *difficulté d'utilisation*. En effet, plus la température est basse plus la libération d'oxygène est rendue difficile (Benitte). Pour Rein, sous l'influence du froid, l'utilisation de l'O² par les tissus ne peut plus se faire.

Au début du refroidissement, la surproduction de chaleur est due à une augmentation des échanges métaboliques, donc des besoins en O². Or, von Wers a montré que c'est précisément à cette phase que la pression d'O² tombe; d'où rupture dans la continuité des processus métaboliques. Il se crée alors un cercle vicieux, dans lequel, aux besoins accrus d'O² correspondent les plus mauvaises conditions d'apport et d'utilisation de celui-ci. Lutz, plaçant des animaux au froid sous haute tension d'O² a vu leur vie se prolonger d'une manière significative.

Ainsi le problème de la thermogénèse se trouve-t-il aggravé chez nos sujets par le facteur altitude.

L'apport glucidique est destiné à compenser des réserves glycogéniques utilisées. L'hyperglycémie au froid est constante; parallèle au refroidissement, elle atteignait dans les expériences des bains froids à Dachau, 80 %, voire 100 % du taux initial.

3. — Intervention des glandes endocrines.

Nous ne ferons que citer l'hyperactivité thyroïdienne, mentionnée par Buchner, pour évoquer le rôle de la *surrénale*.

— Le refroidissement provoque une stimulation certaine de la médullo-surrénale (rôle calorigène de l'adrénaline).

— Le rôle de la *corticale* est moins connu.

Zenow (1943) a constaté chez des animaux soumis à un froid prolongé, une hypertrophie compensatrice de la cortico-surrénale. La plupart des auteurs ont constaté une fonte lipoïde de celle-ci. Enfin, l'autopsie des sujets, morts de froid, a montré des aplasies et des aspects histologiques évoquant l'insuffisance surrénale aiguë.

En résumé : Le froid se comporte comme un agent d'agression direct. Hormis les conditions extrêmes, l'homme, homéotherme imparfait, y oppose un système de défense efficace, mais très coûteux pour l'organisme. Ces dépenses entraîneront la fatigue ou prédisposeront à une moindre résistance, le sujet sollicité par d'autres agressions, et diverses viandes cuisinées, le tout conservé).

En eux-mêmes, la tachycardie, les réactions vaso-motrices, l'entretien d'un métabolisme élevé, la fonte des réserves de graisses et du stock glycogénique, la baisse de la réserve alcaline, la fatigue consécutive aux frissons sont, à la longue, autant de perturbations défavorables pour l'organisme.

L'ALTITUDE

Nous avons dit que l'expédition se déroulait à une altitude de 1 600 à 3 200 m, altitude que les spécialistes qualifient de modérée.

Notons que le séjour à cette altitude devait se prolonger 5 mois dont trois à 3 000 m, pour certains. *Quels facteurs agressifs peuvent être attribués à l'altitude ?* (P.-L. Biget et J. Rivoher).

a) *Oxygène.*

Il y a environ 21 % d'*oxygène* dans l'air.

Cette proportion en volume demeure la même quelle que soit l'altitude, mais la pression atmosphérique décroît avec l'altitude. Or, la pression atmosphérique tient sous sa dépendance la pression partielle des gaz de l'air, et en particulier de l'*oxygène*.

Ainsi, alors qu'au niveau de la mer, la pression partielle O₂ est de 159 mm de mercure, pour une pression barométrique de 760 mm Hg; à 4 000 m, elle sera d'environ 98 mm Hg, pour une pression barométrique de 475 mm Hg. L'essentiel est de noter que, sur le plan physiologique, de l'abaissement de la P.P. O₂ résulte une diminution de la quantité globale d'O₂ offerte au sujet et directement proportionnelle à l'altitude.

A 4 000 m, l'homme ne dispose plus déjà que des 2/3 de l'*oxygène* qu'il recevait au niveau de la mer.

Peut-on estimer cette diminution comme négligeable, dans le cas de notre expédition ?

En voici les données quantitatives :

Altitude (m)	Pression barométrique (mm Hg)	Pression partielle O ² (mm Hg)
0	760	159
1 000	674	140
2 000	596	123
3 000	525	109
4 000	462	98

On voit que durant plus de 2 mois, les hommes n'ont disposé que des 2/3 environ de l'oxygène habituel au niveau de la mer (109 contre 159).

Deux mois durant lesquels ils eurent à fournir les plus importants efforts musculaires.

L'abaissement de la pression partielle d'O² dans les alvéoles pulmonaires, diminue la quantité d'O² du sang efférant des poumons, donc la quantité d'O² offerte au tissu. Le résultat en est une insuffisance d'oxygénation de l'organisme, hypoxie ou anoxémie.

Rappelons à nouveau que la courbe de dissociation de l'oxyhémoglobine varie avec le froid, et que celui-ci gêne de façon notable l'utilisation tissulaire de l'oxygène.

b) Les conséquences de l'altitude sont les suivantes :

1. *Respiratoires* : Au début, augmentation du rythme et de l'amplitude respiratoire. Cette augmentation de débit tend à lutter contre la baisse de pression d'oxygène. Par contre, il en résulte un léger abaissement de la pression partielle de CO².

Il y a donc *hypocapnie* (Beyne) avec déséquilibre humoral, pouvant entraîner un rythme respiratoire de Cheyne-Stockes. Notons que cette hypocapnie s'accompagne d'une baisse de la réserve alcaline, et qu'elle évolue, à long terme vers une normalisation du pH.

2. *Circulatoires*. — Accélération du rythme cardiaque et élévation tensionnelle; Polyglobulie et augmentation du taux d'hémoglobine.

3. *Surrénales*. — Adrénaline sécrétion; Augmentation de la sécrétion des 11 oxycortico-stéroïdes.

4. *Neuro-musculaires*. — Le muscle est sensible à l'anoxie et la capacité fonctionnelle en est diminuée.

— Beyne et Chauchard ont étudié l'action de la *dépression atmosphérique* sur les *chronaxies* nerveuses.

Pour une baisse de pression d'O² aux environs de 85 à 90 mm Hg, ils notent une élévation des chronaxies doublées, triplées, ou quadruplées.

Mais si cette élévation est possible pour une dépression faible (3 000 m), il faut encore que l'ascension soit rapide; une ascension lente modifie peu la chronaxie. Par contre, le rôle de l'O² ne semble pas être seul en cause. Et refaisant les mêmes expériences chez des sujets parfaitement oxygénés, les auteurs en vinrent à envisager, à côté de l'anoxie, un effet physique des basses pressions sur les chronaxies.

Les autres conséquences physiologiques de l'altitude sont beaucoup moins nettes, à des altitudes modérées : digestives, sécrétoires; atteinte du système nerveux central, troubles psychiques et sensoriels.

c) *L'humidité atmosphérique* joue un rôle non négligeable à côté de l'anoxie. La quantité de vapeur d'eau diminue avec l'altitude, bien que de façon non proportionnelle.

Ainsi, à 4 000 m, alors que la pression égale les 2/3 de celle du niveau de la mer, la tension de vapeur d'eau ne représente plus que le 1/4 de sa valeur au niveau de la mer.

De plus, le poids d'eau contenu par kilo d'air est plus faible aux températures basses. Ainsi, alors qu'il y a 150 g d'eau dans 1 kg d'air, à + 20°, on n'en trouve plus que 7,8 g à — 20°C.

Cet abaissement de l'humidité de l'air est un facteur agressif de l'altitude.

Il explique la *déshydratation* importante des sujets, couramment observée. Il favorise la perte thermique au niveau des poumons, sous forme de vapeur d'eau, ainsi que par perspiration.

Enfin, ces pertes hydriques, contrairement à celles de la sudation, sont désodées et favorisent la rétention de sodium.

d) *Le phénomène d'acclimatement* : La tolérance à l'anoxie est fonction de l'altitude atteinte, mais aussi de la durée du séjour et de la vitesse d'ascension. Fonction aussi des variations individuelles et de l'âge du sujet.

Le mal des montagnes dont l'étiologie principale demeure la baisse de pp O² peut apparaître à partir d'une altitude de 3 000 m, mais le plus souvent au-delà.

Si certains de nos sujets ont présenté des troubles, mineurs, vers 2 000 m d'altitude, il s'agissait le plus souvent des troubles dyspnéiques d'adaptation provoqués par un effort imprudemment poussé, et qui ne devaient plus se renouveler par la suite.

L'acclimatation des sujets à l'altitude est un fait bien connu (Biget et Rivolier). On appelle ainsi l'ensemble des réactions de défense qu'oppose l'individu exposé à l'altitude, pour tendre à un nouvel équilibre biologique : *l'acclimatement*.

Le temps nécessaire pour obtenir cet acclimatement est d'autant plus court que l'altitude est plus basse. Pour Grandjean, limité à quelques jours entre 1 000 et 1 800 m, il peut être évalué à 10 jours, à 3 000 m, quelques semaines à 6 000 m.

La vitesse et la modalité de l'ascension jouent un rôle capital. Le meilleur acclimatement est obtenu par une progression non pas en paliers, mais en « dents de scie », le sujet revenant après chaque ascension à une altitude inférieure. Si ce mode de progression est souvent réalisé par les alpinistes, il ne saurait en être question, lors de la progression d'un convoi polaire motorisé, et la montée se fait ici, généralement, par paliers. Par contre, la lenteur habituelle de l'ascension et la modération de l'altitude, en expédition polaire normale, permettent d'espérer un acclimatement correct en quelques semaines.

Dans notre cas, l'ascension fut très lente (50 jours pour atteindre 3 300 m) et l'acclimatation a pu se réaliser progressivement, passant à bas bruits par les divers stades d'adaptation.

Le schéma de cette adaptation peut être le suivant :

1) *Pendant le premier mois de l'expédition* et aux alentours de 2 000 m on notera chez les sujets :

- une hyperventilation pulmonaire,
- un rythme et un débit cardiaque augmentés,
- une vaso-dilatation périphérique, avec mise en service de nouveaux capillaires, entraînant une véritable érythrose faciale,
- des stades successifs de déséquilibre neuro-végétatif,
- une polyglobulie avec concentration sanguine,
- un retour progressif du pH à la normale après une brève élévation.

Tous ces signes s'installent progressivement ou sont brusquement révélés, à la suite d'un effort trop marqué, comme cela a été le cas pour deux de nos sujets.

2) *Après deux mois de séjour à 1 000 ou 1 500 m :*

- la ventilation pulmonaire reste légèrement augmentée, et surtout s'accroît lorsque le sujet fournit un effort,

- peu à peu, l'hypersensibilité des centres respiratoires semble régresser (Grandpierre), l'allongement du temps d'apnée volontaire en expiration en témoigne,
- *le rythme cardiaque* redevient normal avec parfois même une bradycardie,
- *la pression artérielle* systolique redevient relativement basse,
- la vaso-dilatation périphérique persiste avec augmentation du nombre des capillaires (Hurtado),
- l'hypervagotonie fait suite à l'hypersympathicotonie de la période précédente,
- *dans le sang* la polyglobulie persiste,
- la réserve alcaline est légèrement abaissée (Dill),
- le pH est normal ou bas.

Enfin, on a évoqué la possibilité d'un véritable « acclimatement tissulaire », aboutissant à une meilleure utilisation locale de l'O².

Toutes ces manifestations se produisent avec certaines oscillations, mais témoignent finalement d'un état d'équilibre qui définit l'acclimatement.

Nous avons observé un certain nombre de ces réactions d'adaptation chez nos sujets, après deux mois de séjour.

Limités à 3 300 m, il n'était pas question d'observer ici de formes aiguës du mal de montagne.

Il n'en demeure pas moins que la réduction de 1/3 de l'apport d'oxygène, jointe au refroidissement, et à l'extrême abaissement du degré hygrométrique de l'air, ne manquent pas d'avoir, à la longue un retentissement sur les individus.

Cette réponse de l'organisme ne va pas sans dépenses supplémentaires. Et l'on est frappé de retrouver un certain nombre de réactions communes à la pathologie du froid et de l'altitude et nous dirions presque, à l'effort physique. Ces traits communs sont :

- l'augmentation du rythme et du débit respiratoire,
- l'accélération du rythme cardiaque,
- la stimulation de la médullo et de la cortico-surrénale,
- la tendance finale à l'acidose,
- l'augmentation des chronaxies nerveuses.

Tout se passe comme si l'organisme n'avait qu'une façon de répondre à l'agression, ce qui nous ramène aux conceptions actuelles de l'agressologie.

L'EFFORT MUSCULAIRE

L'effort physique comprenait :

Une activité caractérisée : Réception de 180 tonnes de matériel parachuté par les 6 hommes du groupe A. Il s'agissait d'un travail de docker, intéressant les muscles du bras, du tronc et les jambes.

Chaque séance de parachutage apportait au sol de 3 à 6 tonnes de matériel. Le matériel devait être ramassé au sol sur une distance de près de 500 m. Deux hommes étant affectés à la conduite des véhicules, c'est en définitive 4 hommes qui manipulaient chaque fois 3 à 6 tonnes de matériel. L'opération de stockage nécessitant *au minimum 2 manipulations successives*, chaque homme maniait donc environ 2 tonnes de matériel à chaque séance. Le ramassage durait de 3 à 4 heures. Pendant la durée de notre observation, chaque homme de ce groupe a donc, à peu près manipulé 80 tonnes de matériel (réparties en 40 séances de parachutage). Le travail purement musculaire consistait à soulever les caisses et les porter dans les traîneaux collecteurs. Puis décharger ces traîneaux pour constituer les dépôts.

Une activité non définie, d'autre part, est représentée par les actes de la vie polaire.

Ainsi, la marche en neige profonde représente pour des sujets chaussés de lourdes bottes, un effort physique important. De même, la conduite de véhicules lents, soumis à de grosses vibrations, durant de longues heures, parfois 24 heures d'affilée (effort de statique). Enfin, selon les diverses disciplines scientifiques, forage de puits, implantation de balises, transport de matériel lourd incombait tour à tour aux groupes scientifiques.

Ces activités jointes à l'effort intellectuel, sont difficiles à chiffrer de façon positive.

Le fait essentiel nous paraît être que la relative lenteur du rythme de toute expédition polaire, donne à cet effort musculaire un caractère modéré, voyant alterner des périodes de « pointe » et des rémissions au cours desquelles une bonne récupération était possible. C'est pourquoi, l'effort musculaire ne nous a pas paru justifier à lui seul les résultats des mesures pratiquées, en particulier celles de l'E.N.M.

Il est évident qu'un organisme en parfaite condition aurait supporté aisément l'effort physique qui lui était demandé. Mais cet organisme était sollicité par ailleurs; avait à faire face à la lutte contre le refroidissement, à une relative anoxie, à une alimentation de conserve, le tout dans un climat psychologique parfois ambigu.

Là encore, l'effort musculaire nécessitera une augmentation des échanges métaboliques et une consommation accrue d'oxygène. La sous-oxygénation, facteur de mauvaises combustions, s'accompagne

d'un rendement musculaire défavorable, et entraîne une fatigue excessive et précoce.

LES FACTEURS ALIMENTAIRES

Le régime alimentaire de notre raid, étudié avec soin par J. Rivolier, s'inspirait des données récentes de la diététique polaire et paraissait parfaitement équilibré.

La formule de raid mécanisé reléguait au second plan la question des poids et encombrements.

PRINCIPES GENERAUX

Il est admis que la ration alimentaire pour climat froid doit satisfaire à deux conditions principales : haute valeur calorique et haute teneur en lipides.

a) VALEUR ÉNERGÉTIQUE GLOBALE.

L'apport calorique élevé a pour but d'assurer :

— le *métabolisme de sommet* nécessité par la thermogénèse, égal à 3 ou 4 fois le métabolisme de base;

— les *dépenses énergétiques consécutives à l'effort*.

En réalité, l'apport calorique élevé de 5 500 à 6 000 calories, préconisé il y a 12 ans (Latarjet, 1948) n'apparaît plus de nos jours indispensable. La protection vestimentaire efficace permet à l'organisme de réduire son effort de thermogénèse. Les trappeurs du Groenland vivent avec 3 000 calories par jour. Krogh et Hoygaard évaluent à 2 800 - 2 900 calories les besoins énergétiques de l'esquimau adulte.

Actuellement : un apport quotidien de 3 500 à 3 800 calories paraît tout à fait suffisant, tant en raid que dans la base. Apport porté à 4 500 calories en cas de travail particulièrement pénible. En somme, 500 calories de plus que la ration équivalente en pays tempéré.

Nos rations apportaient environ 4 500 calories par jour. Cette marge calorique est fort utile, la ration quotidienne n'étant jamais totalement utilisée en raison des préférences de chacun. De plus, elle laisse une marge de sécurité en cas d'efforts supplémentaires.

b) ÉQUILIBRE DE LA RATION.

Au régime exclusivement *protido-lipidique* (Pemmican, Bovril), que l'exemple des esquimaux avait incité à adopter, mais dont l'illogisme s'est démontré, s'est substitué un régime large, à prédominance *lipido-glucidique*.

1. *Lipides* : leur intérêt calorigène n'est plus à démontrer. Un chiffre de 125 à 170 g de lipides, couvrant 32 % à 40 % des besoins caloriques, semble satisfaisant. Nos rations en comportaient 200 g y compris la marge de sécurité (beurre, fromage, saucisson, lait, chocolat et diverses viandes cuisinées), le tout conservé.

2. *Glucides* : L'apport glucidique élevé a fait l'objet de nombreuses controverses. L'expérimentation animale diffère de l'expérience humaine, l'homme réagissant au régime de façon subjective, traduisant ses préférences et ses répulsions particulières en pays froids.

L'hyperglycémie de la thermogénèse, le frisson thermique, alimenté par la combustion musculaire du glucose, plaident en faveur d'un apport glucidique élevé, par rapport aux graisses. Le froid ralentit la digestion de celles-ci et leur combustion exige plus d'oxygène. Quant au choix spontané, la classique « faim de graisses » est loin d'être la règle, et personnellement, nous avons souvent constaté en raid, une nette préférence pour les *glucides*.

Néanmoins, cette élévation des *glucides* ne devant pas se faire aux dépens des lipides, nous considérons comme satisfaisant un chiffre moyen de 500 g de glucides par jour, apportant 57 % des calories de la ration (crèmes, confitures, sucre, lait concentré, biscuits, ovomaltine, bonbons, fruits secs).

3. *Les Protides*, de peu d'intérêt sur le plan calorique, doivent néanmoins couvrir les besoins azotés et ne sauraient descendre au-dessous de 90 g par jour. L'apport moyen sera de 120 g par jour. Nos rations en comportaient 120 à 160 g couvrant 10 à 15 % des besoins caloriques (viandes, fromages, lait, biscuits).

En résumé : Apport énergétique moyen de 3 500 calories.

L'équilibre de la ration journalière que nous avons utilisée nous paraît avantageux :

500 g de glucides

200 g de lipides

150 g de protides

4. *L'apport vitaminique* enfin, était assuré par les légumes, les graisses, les jus de fruits vitaminés que les sujets consommaient de préférence aux boissons alcoolisées.

Bien que nous ayons systématiquement refusé tout apport médicamenteux aveugle, nous n'avons rencontré aucune manifestation carentielle patente. Les procédés actuels de mise en conserve semblent respecter les principes vitaminiques. Ce qui ne signifie pas que l'apport vitaminique de supplément ne puisse jouer un rôle thérapeutique :

— Psychologique d'abord, la phobie des avitaminoses étant très répandue dans les expéditions.

— Pharmacodynamique car la sollicitation constante de la surrenale justifie peut-être l'adjonction d'une dose moyenne d'acide ascorbique d'appoint.

c) SUR LE PLAN SUBJECTIF, on doit accorder une large place aux problèmes du goût et de *l'acceptation*. Une enquête menée, en fin d'expédition, auprès des 50 membres, nous a révélé que dans l'ensemble, les rations avaient paru trop abondantes. Par contre, la détermination des préférences est loin de réunir l'unanimité. Une nette préférence pour les glucides a été notée; certains groupes allant jusqu'à éliminer la graisse des conserves qui leur était proposées. Un manque de légumes verts, de cellulose, de « lest » est déploré par la plupart, par rapport à la masse des glucides et des protides.

Il faut lutter surtout contre les dégoûts engendrés par la monotonie. *L'anorexie* classique en fin de raid, a été très modérée, grâce en partie à la diversité des aliments, on peut l'évaluer à 10 % de l'appétit initial au départ.

Dans l'ensemble, aucune carence alimentaire grossière ne semble pouvoir être incriminée. Une insuffisance relative des apports vitaminiques est difficile à apprécier.

Les rations par contre dépassaient de loin le besoin vital, pour procurer aux hommes cette sensation de confort physique, si bénéfique pour le moral des individus.

LES ASPECTS PSYCHOLOGIQUES

1. — Aspect théorique.

De l'échelon cellulaire, en interdépendance avec le système endocrinien, nous remontons logiquement vers le fait de la pyramide hiérarchique qui régit toute l'activité de l'organisme : le couple hypothalamo-hypophysaire, puis le cortex cérébral.

Là se singularise l'expérience humaine, de l'expérience animale. Là le psychisme humain va influencer en fonction de l'environnement, les chaînes de toutes les réactions précédemment envisagées.

« Le psychisme, dit Coirault, va apprécier en fonction des situations extérieures, favorables ou défavorables, la réponse, qui sera finalement neuro-musculaire (fuite ou lutte). »

Mais cette appréciation elle-même dépendra également de l'expé-

rience passée, de l'histoire du sujet, de l'éducation de la volonté, de tous les héritages caractériels et du Sur-Moi, de la motivation, etc., qui feront que chaque sujet réagira différemment devant une même agression.

Cette notion est fort classique, et chacun sait que, au moment de l'assaut, de l'effort final, ce ne sont pas nécessairement les plus robustes musculairement qui iront le plus loin. Le tonus psychique, et la puissance de volonté, quelles qu'en soient la motivation, permettront seuls à l'homme de se surpasser. On ne peut expliquer autrement certains exploits, certaines performances de survies qu'une modeste constitution physique n'aurait jamais laissé prévoir.

Dès lors, il est évident qu'il faut maintenir les sujets dans des conditions psychiques les plus favorables, et éviter, que par une détérioration même passagère de la volonté et du self-contrôle, émotion et fatigue ne puissent devenir anxiété et épuisement.

a) *Le sommeil* joue en tant que facteur de repos, donc de repolarisation cellulaire (récupération cellulaire d'ion K et rejet de Na). *Les troubles du sommeil* entraînent rapidement une fatigue musculaire, puis cellulaire, en entravant cette repolarisation. Bien plus, aux troubles du sommeil, font suite *troubles des états de conscience*. Leur fondement cellulaire a été mis en évidence par l'étude de l'excitabilité neuro-musculaire, dans tous les états d'altération de conscience.

Il s'est avéré que ceux-ci pouvaient correspondre à deux tableaux, biologiques et neuro-électriques opposés, selon qu'il y ait hyperpolarisation ou dépolarisation nerveuse. Fishgold note (1957) que « la perturbation de la conscience vigile paraît répondre à un écart important par rapport à l'activité cellulaire moyenne ». A l'appui de cette remarque, Alajouanine retrouve, à l'E.E.G. deux modes opposés d'altération des tracés : dépression, ou décharges excessives.

Cliniquement, enfin, tous les troubles liés à *l'anxiété* croissante, correspondront à l'hyperpolarisation. A l'inverse, à toute dépolarisation correspondent soit, encore des épisodes confusionnels, soit des états progressivement comateux.

Le système mésodiencephalique est toujours en cause. Ces troubles peuvent être dus, soit à une déficience corticale, qui, interrompant son contrôle du mésodiencephale, place celui-ci dans une situation d'autonomie; soit à toutes altérations directes de la région mésodiencephalique (SRAA).

En dernière analyse, tout facteur, psychique ou organique, modifiant l'activité du SRAA ou du cortex, seront susceptibles d'entraîner ces troubles. Expression mineure, le trouble du sommeil peut être le résultat :

— soit d'une lutte excessive (surpolarisation), cas le plus facile, mais où les repolarisants, largactil, réserpine, ne feraient qu'accroître l'insomnie;

— soit d'un épuisement, en dépolarisation, où les repolarisants pourront procurer un sommeil réparateur.

En résumé : le sommeil, s'il nécessite une polarisation moyenne des groupements neuroniques, concourt à rétablir cet équilibre.

C'est pourquoi, dans le cadre d'une expédition, la recherche d'un sommeil quotidien, correct en qualité et en durée, ne sera pas un luxe, mais une nécessité impérieuse.

b) *Rôle des émotions* :

Elles sont responsables de la fatigue psychique, précurseur de la fatigue cellulaire. Nous distinguerons avec Gastaut, deux réactions émotionnelles :

1) *La réaction émotionnelle fondamentale* et indifférente (réaction de surprise) dont le mécanisme est uniquement mésencéphalique. Elle nous intéresse peu.

2) *La réaction émotionnelle différenciée*, celle qui réalisera successivement les réactions d'attention, inquiétude, peur, de panique ou de fureur.

Cette différenciation de l'émotion indifférente sera donnée par le *rhinencéphale*, qui prête une qualité à l'émotion. C'est au niveau du rhinencéphale que sont concentrés les systèmes de références anciens et toutes les informations nouvelles, transmises de l'extérieur, par les organes de perception.

Ainsi, toute émotion désagréable va retentir sur l'activité réticulaire, dont les réponses périphériques, et corticales, vont modifier toute l'activité globale du cerveau, et à sa suite le système neuro-musculaire.

Ici encore, selon la qualité des émotions, les réponses créeront deux tableaux opposés :

Les satisfactions augmentent le bien-être, il y a repolarisation et baisse de la kaliémie. La cataplexie, à la suite d'heureuse surprise, en est une illustration pathologique (Wallon, 1954) ;

Les émotions désagréables entraînent le plus souvent une hypoexcitabilité notable, avec inversion neuro-musculaire associée à la sensation de fatigue. Expérimentalement, une stimulation lumineuse excessive (agression désagréable) provoque des phénomènes narcoleptiques avec hypoexcitabilité.

Retenons que, d'une façon générale, les émotions agréables augmentent l'excitabilité.

Il se peut d'ailleurs que la satisfaction ressentie ne soit due qu'à l'oubli, même passager, des autres émotions désagréables. Il est en effet curieux de constater que si l'on peut provoquer la peur par stimulation d'un noyau amygdalien, par exemple (rhinencéphale), la joie ne semble pas avoir de centre spécifique, comme si la joie était le fait d'une polarisation neuronique satisfaisante des centres en question.

R. Coirault a noté que chez l'athlète, l'émotion agréable, un travail désiré, la pratique d'un sport aimé, augmentent d'une façon croissante l'excitabilité nerveuse, facilitant ainsi l'activité musculaire, et retardant l'état de fatigue.

C'est également pour cela, que le sujet fatigué, placé brutalement dans des conditions précaires de survie, grâce à une stimulation psychique (instinct de conservation, volonté de réussir) pourra retrouver de nouvelles forces, mobiliser de nouvelles réserves énergétiques (néoglycogénèse) à condition que ces réserves existent encore, et que les systèmes endocriniens puissent encore répondre.

Nous ne ferons qu'évoquer enfin, le rôle de *l'anxiété*, traduction pathologique de l'état émotionnel normal, elle en est aussi la caricature biologique.

Si les émotions désagréables entraînent un état de fatigue précoce, par son action dépolarisante, et en dehors de tout épuisement métabolique, l'anxiété va, elle, conduire à l'épuisement.

Sa traduction psychique est bien connue : mélancolie, état dépressif, ou confusionnel, état que le sujet objectivera par une névrose d'angoisse, une névrose obsessionnelle ou une phobie. Son retentissement biologique sera : d'abord, une phase d'hyperexcitabilité avec hyperactivité métabolique (celle du langage imagé : « énergie du désespoir ! !), puis un épuisement métabolique progressif avec hypoexcitabilité, conduisant, si le sujet reste fixé à cette phase, à l'épuisement.

En conclusion : Chez l'être humain, pris isolément, la fatigue ne correspond pas nécessairement à un épuisement métabolique. Certes, celui-ci est le terme ultime de tous les états de fatigue, et c'est au niveau cellulaire que se produit l'épuisement final.

Mais l'état de fatigue peut apparaître bien avant, et en présence d'un potentiel énergétique convenable, lorsqu'en raison de facteurs psychiques défavorables, l'individu ne peut plus répondre normalement, et se place, soit en état de surpolarisation, soit de dépolarisation, deux pôles biologiques opposés d'un état clinique voisin, mais de conséquences thérapeutiques différentes.

2. — Psychisme et collectivité.

Nous avons jusqu'ici considéré l'individu, en tant qu'être isolé.

Il est évident qu'au schéma précédent doit être apporté une correction.

En réalité, chaque individu ne répond pas aux stimuli nociceptifs de manière identique.

Selon leur caractère, et leur personnalité, les uns dominateurs et extratensifs, par exemple, répondront aux émotions par une augmentation « efficiente » si l'on peut dire, de leur excitabilité neuromusculaire, les autres (les dominés, les timorés, les peu imaginatifs) répondent aux émotions par une baisse de leur excitabilité. Ils se dépolarisent.

Nous arrivons ainsi à la notion d'harmonie de groupe. Pour qu'une collectivité soit harmonieuse, il faut qu'elle groupe dans son sein. des sujets de caractères dissemblables, voire opposés, acceptant un état d'étroite dépendance et d'intégration, profitable à cette collectivité, et faisant de celle-ci, une nouvelle unité, mieux assurée contre les facteurs agressifs qui la menacent.

Il est vrai, que le hasard de la vie aboutit fréquemment à cette juxtaposition d'êtres dissemblables. Cela n'est pas toujours le cas, et par ailleurs, cette seule juxtaposition ne suffit pas à créer une psychologie harmonieuse au sein du groupe. Elle demande à chacun, le désir de s'intégrer à cette nouvelle unité.

Ceci est nécessaire à l'efficacité d'une unité de combat, encore que la discipline militaire, pressée par des impératifs immédiats, emprunte d'autres voies pour parvenir à cette cohésion.

Mais cette intégration devient indispensable à une collectivité civile, telle que peut la réaliser une expédition polaire.

3. — Aspect psychologique de la collectivité réalisée en expéditions polaires.

Une expédition comme la nôtre groupait sur le terrain, une cinquantaine de participants. Du mécanicien au scientifique, hautement spécialisé, toutes les classes sociales y étaient confrontées. Ceci est le cas de toute expédition, mais était compliqué ici par le mélange de nationalités différentes, dont certaines opposées dans le dernier conflit mondial.

Les caractéristiques de ces collectivités sont assez particulières : La *promiscuité* y est on ne peut plus étroite.

a) Un *hivernage* groupe durant une année, dans un réduit de 60 à 80 m², 6 à 12 hommes d'origine, de conditions et de caractères différents.

Les conditions climatiques les tiennent le plus souvent captifs de leur base. Ils assument à tour de rôle, l'ingrate obligation des corvées ménagères, source de frictions. Ils restent de longs mois sans nouvelles de leur famille, et privés de courriers, ils subissent la routine de l'hivernage sans échappatoire possible. Il peut se développer souvent, vers le milieu de l'hivernage, un syndrome psychopathologique de type carcéral.

Les rapports sociaux deviennent caricaturaux. La conversation, la moindre parole, y prend une résonance considérable. Dans le silence, dans l'isolement de chacun s'affirment les personnalités fortes, s'effondrent les caractères faibles. Les antipathies se créent, vite exacerbées. Des risques de scission se manifestent, au sein de cette petite cellule sociale, où les faibles se jalourent ou tentent de se grouper pour s'affirmer contre les plus forts. L'imagination, enfin, se donne libre cours, permettant à certains phantasmes de se développer avec ampleur. L'un se croit l'objet d'une vindicte générale. L'autre se croira sous-estimé dans ses capacités professionnelles. Chacun épique chacun, attendant la moindre défaillance.

Le chef, en particulier, est sous le feu continu de regards critiques; il lui faudrait être infaillible. Cette cohabitation de chaque instant dépouille peu à peu chacun de tout mystère et le ramène à sa juste valeur.

En somme, ils connaissent les risques et les désagréments de la cohabitation conjugale, sans bénéficier de ses avantages...

b) *Le raid polaire* se présente différemment.

Ici l'on se déplace (l'activité physique et la variété de l'exercice amènent une heureuse diversion). Il n'empêche que des groupes composant notre expédition se trouvaient totalement isolés les uns des autres durant la plupart du temps séparés par des centaines de kilomètres, réalisant par certains aspects les conditions psychologiques de 6 groupes d'hivernants.

Chaque groupe comprenant de 4 à 8 hommes, mêlant deux ou plusieurs nationalités autonomes, possédait en moyenne deux véhicules tracteurs et une caravane dans laquelle ils vivaient. Cette caravane, bien que confortable, mesurait 2 m sur 4. C'est dans cette étroite cellule, que les 6 hommes, durant 5 mois, devaient manger, dormir, ou attendre, durant les interminables journées de white-out ou de blizzard.

c) *Quel climat psychologique peut-on en attendre ?*

On ne peut manquer d'évoquer, à leur sujet, d'autres collectivités d'hommes, où la promiscuité était tout aussi intime. Nous pensons, par exemple, aux camps de prisonniers. Le parallèle n'est pas sans analogie; mais les soldats incarcérés, puisaient dans l'esprit de révolte, ou l'espoir d'une libération, une force de cohésion et d'unité. Le sentiment de l'injustice, du destin malchanceux, et de l'inéluctable; la pression d'une discipline totalitaire les contraignaient peu à peu à la résignation, vraie ou feinte.

Or, aussi paradoxal que cela puisse paraître, le drame du sujet moyen, parti en expédition polaire, est qu'il y est parti *librement*, qu'il a signé *volontairement* son contrat.

Cela, lorsqu'il souffre, lorsque l'heure de l'épreuve a sonné, il peut ne pas se le pardonner. S'il n'a pas un idéal assez élevé, l'homme brisé, l'homme qui souffre, l'homme malheureux récusé sa responsabilité, cherche un responsable, se pose en accusateur.

On pourrait imaginer à ces hommes, comme l'imagination populaire se plaît à le rêver, un idéal commun, fortement charpenté, les conduisant en groupe compact vers un même but, l'étoile du berger, ardemment convoitée.

Le but scientifique de nos expéditions ne concrétise cet idéal que pour un petit nombre. Et l'on est amené à poser la question de la *motivation*.

4. — La motivation.

Quels mobiles ont poussé ces divers hommes à partir en expédition polaire ?

Cette question, couverte d'un voile pudique, a été bien rarement soulevée. Nous-même, nous livrant à une petite enquête, à ce sujet, avons été étonné de la diversité des réponses, la difficulté d'en obtenir, et souvent le flagrant manque de sincérité qu'elles révèlent.

Nous ne parlons là que de l'expédition polaire actuelle, pour laquelle le sujet engagé est très décemment rémunéré.

L'absence où la médiocrité des salaires de jadis, compensées par l'attrait de l'inexploré et un esprit d'aventure, hélas, passablement dissipé, modifiaient beaucoup l'état d'esprit des premiers explorateurs, donnant à leur geste, un enthousiasme et une pureté qu'il semble difficile de leur disputer. Aussi, cela profitait-il à la ténacité morale du groupe, et à une volonté parfois poussée jusqu'à l'entêtement. Leurs récits en témoignent et plus encore les prodigieux exploits physiques que, seul, cet état d'esprit pouvait leur permettre de réaliser.

L'explorateur polaire d'aujourd'hui est un salarié. Tous ne sont

pas « du métier ». En dehors des cadres permanents, les participants sont engagés peu de temps avant le départ de l'expédition.

Dans le privé, ils exerçaient leur métier dans des cadres très divers. Mécaniciens d'usine, ou de garage. Techniciens de la marine civile ou militaire. Scientifiques attachés à un laboratoire de recherche ou à l'enseignement. Ingénieurs civils, sortis récemment d'une grande école. Plus rarement, profession libérale. Parfois, militaires détachés de l'armée. Enfin, un certain nombre exerçait un métier déjà aventureux : sport, aviation civile par exemple.

Pressentis pour une prochaine expédition, ils vont poser leur candidature.

Quels motifs les pousseront à tenter cette aventure singulière, qui restera pour certain l'unique aventure de leur vie ? Très schématiquement, nous pourrions les classer en trois catégories :

- 1° les intéressés,
- 2° les aventuriers,
- 3° les fuyards (inadaptés).

En précisant combien cette distinction est arbitraire, la complexité des caractères échappant à tout cadre rigide.

1) LES INTÉRESSÉS cèdent à l'attrait d'un salaire élevé, ou du moins supérieur à leur salaire habituel. Cette dénomination n'est nullement péjorative, leurs mobiles étant souvent parfaitement honorables. Un mécanicien de garage, se voyant proposer pour une durée de 6 à 18 mois, un salaire double de son salaire actuel, partira pour réaliser des économies, améliorer son standing, payer des dettes, aider sa famille, etc., et seulement cela.

Leur nombre est difficile à évaluer, car différent des réponses obtenues. Certains éprouvent une véritable honte à avouer un motif aussi prosaïque. D'autres, à l'opposé, invoqueront avec un cynisme forcé, le prétexte financier pour dissimuler un petit rêve d'aventure, dont ils redoutent confusément la naïveté et ont la secrète pudeur. La satire française est toujours mordante pour « l'imagerie Boy-Scout ».

Ces appâtés du gain représentent les éléments positifs d'une expédition. Ce sont le plus souvent des manuels, consciencieux et soucieux de mériter au mieux un salaire qui les justifie à leurs yeux, et justifie à l'avance, et leur départ, et tous les sacrifices qu'ils acceptent d'emblée, nous les évaluons à environ 30 % des effectifs. Nous classons à leur côté un certain nombre de sujets temporairement sans travail, et désireux de « combler un vide » et voir venir (5 à 10 % des précédents).

Enfin, une autre catégorie *d'intéressés* est représentée par les chercheurs scientifiques. Souvent les plus âgés, spécialisés dans une branche à laquelle ils ont consacré leur vie, avec succès (glaciologie, sismique, géologie). Ils passent tout naturellement du laboratoire au terrain, sans dépaysement, et tout entiers préoccupés par le but qu'ils recherchent.

L'expédition est pour eux l'occasion rêvée de défendre ou confirmer une théorie qui leur est chère, ou dont ils sont les auteurs; que leur mobile soit la curiosité scientifique, pure, entachée ou non de chauvinisme d'école, ils se classent naturellement parmi les *intéressés*.

Sur le terrain, ce sont généralement les éléments les plus enthousiastes, ce qui ne les met pas à l'abri de défaillances physiques, lorsque les conditions extérieures leur imposent une performance physique à laquelle ils sont bien rarement préparés.

Leur proportion dépend, bien sûr, du type de l'expédition. Dans la nôtre, ils représentaient environ 20 % des effectifs, la plupart de nationalité étrangère. Le doyen était âgé de 57 ans.

Du point de vue physique, il va de soi que l'on a tout intérêt à entourer ces sujets d'éléments plus manuels, la symbiose réalisée étant stimulante pour ces derniers, et protectrice pour les premiers.

2) LES AVENTURIERS : nous voulons parler d'un certain nombre de sujets, nullement insatisfaits de leur vie actuelle, mais toujours à l'affût du nouveau, de l'inopiné et de l'exaltant. Les uns sont à l'affût de sensations fortes ou nouvelles, d'exploits héroïques et d'actions d'éclat. Les autres recherchent une sorte de philosophie, nouvelle pour eux, dans cette transplantation, dans le contraste et le bouleversement de leurs conditions de vie.

On objectera qu'ils s'exagèrent souvent le caractère hasardeux d'une aventure, où tout est mis en œuvre pour faire échec au hasard. Tout est relatif. L'employé de bureau prend des risques considérables en s'engageant, même sous contrat, pour l'aventure polaire. D'autre part, le risque existe et n'est jamais exclu. Cela, les aventuriers non seulement le savent, mais le choisissent. Au cours de notre expédition, l'un de nous fut attaqué et blessé par un ours, dans une région où toute présence animale était inconnue. Le reste du groupe était en train de jouer aux cartes, enfermé dans une caravane, à l'abri du blizzard. Ainsi côtoie-t-on journellement des risques imprévus, alors que tous les éléments d'une installation confortable tendent à faire oublier qu'ils puissent exister.

La seule crise d'appendicite aiguë enregistrée au cours de cette expédition, survint en pleine période de black-out radio, tout contact radio étant impossible depuis 15 jours avec la côte.

Les aventuriers sont des actifs. Ils partent, et ne rêvent pas seulement de partir, ce sont souvent des récidivistes, et l'on retrouve souvent les mêmes noms sur toutes les pistes du monde. La difficulté est de trouver parmi eux des techniciens réellement spécialisés; car toujours poussés ailleurs ou plus loin, il est difficile d'obtenir d'eux la stabilité nécessaire à l'acquisition d'une spécialisation vraie (20 % des candidats ?)

3) LES FUYARDS. — Bien différents des précédents sont ces faux aventuriers que représentent les sujets instables, mécontents et inadaptés qui partent pour fuir.

Ils fuient une société à laquelle ils s'intègrent mal.

Ils fuient une situation professionnelle dont ils sont mécontents.

Ils fuient aussi une situation conjugale ou sentimentale, espérant dans cette fuite l'oubli ou le dénouement de leurs soucis.

Or, précisément, les conditions de vie polaire infligeant aux sujets une épreuve supplémentaire, physique et morale, exigent d'eux qu'ils soient au départ, parfaitement équilibrés. C'est pourquoi, nous estimons que ces sujets sont les moins souhaitables en expédition, et *a fortiori*, dans un hivernage. Nous pensons que la présélection devrait tendre à dépister ces sujets, et à les éliminer avant tous autres.

Nous verrons que leur comportement sur le terrain ne fait que justifier cette rigueur.

On voit que, finalement, ces 3 types de candidats répondent à deux types opposés :

1) *Les Intéressés* : par le gain, par la recherche scientifique, par l'aventure.

2) *Les Fuyards*, dont le départ est un acte négatif.

Ceci est schématique, et l'on conçoit bien que peu de sujets se trouvent ainsi purement définis. Il est normal, par exemple que personne ne soit indifférent à un salaire convenable, mettant à l'abri des préoccupations immédiates. A l'opposé existent des aventuriers, des instables cupides.

Mais surtout, on retrouve, commun à la presque totalité des candidats, un certain esprit d'aventure, plus ou moins conscient, qui leur donne, si l'on peut dire, un « air de famille ». Même pressés de dettes, ou au chômage, bien des individus ne se décideraient jamais à partir. Le test du départ est en lui-même assez éloquent; le fait pour un sujet de « sauter le pas », vers une aventure imprévue, représente un choix et en tout cas, une acceptation de l'aventure.

5. — Evolution du comportement.

1) LE DÉPART.

Cet enthousiasme un peu juvénil, tous ceux qui ont assisté au départ d'une expédition ont pu le reconnaître.

La décision prise, l'engagement signé, chacun semble détaché de ses motifs de départ, et se trouve entraîné par un grand courant d'enchantement collectif, qui les rapproche les uns des autres. La fièvre des derniers préparatifs, la concrétisation d'un acte longtemps imaginé, une intense curiosité, regroupe ces hommes dans un esprit d'équipe. C'est aussi « l'heure des journalistes », et les plus sceptiques, secrètement étonnés par la curiosité du public envers l'entreprise à laquelle ils participent, prennent conscience d'un rôle à jouer.

C'est rarement un stade de difficultés psychologiques.

2) LE TERRAIN.

C'est là seulement, et loin du public, que se démasqueront les caractères. Là qu'on se félicitera ou non du choix des participants. Quel va être le comportement des divers sujets.

Le premier mois : encore marqué par la découverte d'un monde nouveau, et qui ne déçoit jamais (le paysage polaire), marqué par l'adaptation intéressante à une technique nouvelle de vie, pose également peu de problèmes. Quelques antipathies ou sympathies spontanées se créent, quitte à se modifier par la suite.

Mais c'est après un ou deux mois que le bilan pourra se faire.

Psychologiquement, c'est souvent le moment du « désenchantement ». La curiosité s'est émoussée. La fatigue apparaît : l'éloignement et l'isolement ont commencé à faire sentir leurs effets. L'influence du paysage arctique désert sur des centaines de kilomètres, l'absence de toute végétation et de toute présence animale engendrent à la longue la mélancolie. L'homme se demande alors « pourquoi il est parti ». Or, ce moment nous intéresse parce que chaque sujet, au terme d'une prise de conscience plus ou moins aisée, risque de se figer dans une attitude qu'il gardera durant toute l'expédition.

Les intéressés réalisent que leurs économies amputées de dépenses familiales (qui s'adaptent fort bien aux nouveaux revenus) ne seront pas ce qu'ils avaient espéré.

Le scientifique connaît des moments de découragement, soit que des difficultés imprévues viennent gêner son travail, soit que ses premiers résultats ne répondent pas à son attente.

Les fuyards surtout s'aperçoivent avec amertume que l'on ne se fuit pas soi-même. Le plus souvent ils sont aussi mécontents de leur nouvelle vie que de l'ancienne. Petits paranoïaques, ils s'avèrent aigris,

revendicateurs, fomenteurs de troubles; en fait associaux. Tandis que leurs soucis personnels, non résolus, voire avivés par la lecture de lettres reçues, prennent un caractère obsessionnel, ils deviennent geignards, déprimés, fatigués, et se plaignent d'une infinité de petits malaises physiques.

Il était évidemment illusoire d'espérer de leur transplantation, une amélioration de leur caractère. Et au retour, leur réinsertion dans la vie sociale et familiale sera d'autant plus difficile qu'ils ont amoindri leur faible capacité d'adaptation.

3) LE PROBLÈME AFFECTIF et conjugal mérite d'être évoqué. Il n'est pas sans incidence sur le moral des sujets.

C'est un fait établi, qu'une proportion non négligeable des membres d'une expédition, connaissent une situation familiale difficile, ou vivent un conflit conjugal; ce n'est pas un hasard, et l'on pouvait s'y attendre. Il n'est pas indifférent d'éloigner d'un foyer équilibré, et pour 6, 12 ou 18 mois, l'un des deux conjoints. Que dire d'un foyer déjà instable au départ !

Les femmes réagissent diversement à cette frustration.

Si certaines acceptent l'absence de leur mari, comme une épreuve prévue et voulue, en échange d'une sécurité financière accrue, par exemple; si d'autres se trouvent fortifiées par l'entretien du mythe du « mari-héros », beaucoup finissent par voir en définitive, dans ce départ, une véritable trahison. Car, le militaire éloigné de ses foyers par la force de la loi n'est pas suspecté du désir d'évasion.

Par contre, la femme captatrice, pour qui le bonheur de l'homme ne saurait être qu'auprès d'elle, comprendra difficilement qu'il ait pu, délibérément, de son plein gré, désirer ou accepter ou choisir de partir. Aucune autre considération ne pourra l'influencer. Elle méditera le thème à loisir, et l'homme sera étonné de constater à son retour une sensible évolution psychologique chez la femme, facteur d'incompréhension, d'éloignement ou encore d'adultère.

Certes, le classique adultère des femmes d'hommes « toujours absents » n'est pas qu'une boutade, mais il est probable qu'il ne survient que sur un terrain prédisposé et déjà préparé. Le départ n'a fait qu'accentuer le fossé, favoriser l'occasion, précipiter l'événement.

Si donc les mésententes conjugales sont fréquentes dans les foyers d'explorateurs, il faut bien distinguer celles qui sont consécutives à des absences trop prolongées ou souvent répétées; de celles qui ont justement motivé ou favorisé ce départ.

C'est le cas fréquent des instables, des inadaptés dont nous avons déjà parlé. Leur inadaptation était déjà responsable d'un échec sur le plan conjugal. Leur situation sentimentale était embrouillée, parfois

inextricable. Ils partent pour fuir cela; espérant du temps, et de l'absence un dénouement improbable. Pour ceux-là, l'expédition n'aura fait qu'entretenir un conflit ancien ou latent, mais n'en aura pas été la cause.

Nous avons évoqué ce problème pour les répercussions importantes qu'il a sur le moral de l'homme éloigné. C'est sans doute l'un des éléments majeurs de la nocivité de l'éloignement.

Isolé, l'homme n'oublie pas le conflit laissé derrière lui. Il y pense davantage, surtout en période d'inactivité. Détaché de la réalité, et ne pouvant agir, il lui prendra soudain l'envie d'agir, d'intervenir et il accuse l'éloignement de l'en empêcher.

Son imagination majorera ses soucis; s'il est jaloux, ses soupçons deviendront intolérables; ses rêveries morbides prendront un caractère d'obsession.

S'il a quitté un foyer uni, il cherchera dans les lettres reçues le symptôme d'une désaffection, voire les indices d'une trahison. Il devient inquiet, d'autant plus désespéré qu'il ne peut confirmer ses doutes et se défendre.

Cette inquiétude, que nous avons constatée maintes fois, est déplorable dans ses effets.

L'homme anxieux devient associable, néglige ses responsabilités, refuse son travail, devient un poids pour la collectivité. Foyer de mauvais esprit, il provoque autour de lui des discordes, détruit l'esprit de groupe. Sans aller aussi loin le sujet seulement inquiet, ou souffrant affectivement de l'éloignement d'une femme aimée, vivra et travaillera dans de mauvaises conditions. Il accusera plus vite qu'un autre un état de lassitude immotivée.

C'est pourquoi, en présence de circonstances dramatiques et d'agression, il n'aura pas le tonus suffisant pour mobiliser toute son énergie et abandonnera plus vite la partie.

C'est pour éviter cela, tant pour la conduite générale de l'expédition que pour l'éventualité d'un drame imprévu, que l'on doit tout faire pour dépister ces anxieux *préventivement*, et au stade de la sélection des sujets, en accordant autant d'importance à la situation psychique des sujets qu'à leur état physique.

Il faut pouvoir dépister, en particulier, les instables, les inadaptés, les associables, et même tous ceux suspectés de vivre un conflit conjugal, sentimental ou professionnel et leur refuser cette fuite. Leur faire comprendre qu'une expédition nécessite des individus en pleine possession de leurs moyens et qu'elle n'est pas le refuge d'inadaptés sociaux. On leur rendra service, car ils souffriront davantage sur le terrain et aggraveront leur anxiété, tout en étant physiquement handi-

capés. Et l'on protégera l'expédition contre des sources de scission qui mettent psychologiquement et physiquement tout le groupe en danger.

Curativement, le meilleur moyen de protection est la lutte contre l'ennui. L'oisiveté, et l'ennui, sont deux fléaux dans les expéditions polaires. On peut être contraint à l'inactivité pendant des semaines, du fait des conditions atmosphériques défavorables. On imagine les méfaits de cette inactivité chez les anxieux et les imaginatifs. Nous avons remarqué que c'était souvent les individus plus intellectualisés qui étaient le plus sujet à l'ennui. Les deux extrêmes s'organisent. Ainsi, les manuels, peu imaginatifs, s'accommodent fort bien de ne rien faire, ou de s'occuper à des jeux simples ou des bricolages manuels. A l'opposé, les penseurs, ou les philosophes (mais rares sont-ils) s'absorberont aisément dans leur méditation ou leur rêve intérieur. Le meilleur moyen préventif est sans doute la lecture, et il semble qu'une expédition moderne doit attacher autant d'importance à une bibliothèque variée et fournie, qu'à son équipement vestimentaire par exemple. Elle occupe l'esprit, empêche l'imagination de vagabonder stérilement et offre au sujet une possibilité d'enrichissement, alors qu'il se trouve être, nous l'avons remarqué, dans un état de réceptivité et de compréhension aiguisé.

En période normale d'activité, il est indispensable de fournir à chacun, un motif de dépense physique, et aussi la responsabilité de son activité. Paradoxalement, on lutte ainsi contre la fatigue, et G. de Sypiorski a remarqué, chez les membres de son hivernage au Groenland (1959-60), que la fatigue de ses camarades semblait progresser avec la venue de la nuit polaire et la restriction de leur activité physique.

Il est probable que l'insomnie, et la fatigue des hivernants, claustrés dans leur base pendant la nuit polaire, traduit un état de surpolarisation. La dépense physique dissipe et cette fatigue et cette insomnie.

A propos des conséquences psychologiques de l'isolement, il faut mentionner le rôle incident du courrier postal. La question ne se pose pas lors des hivernages, comme ceux de Terre Adélie, où tout échange de courrier est impossible.

Au Groenland, notre expédition réceptionnant divers parachutages, ses membres ont eu la possibilité de recevoir une douzaine de courriers.

Chez beaucoup de sujets, la réception de courrier jouait un rôle extrêmement favorable. Il diminue la sensation d'isolement, rassure les esprits par l'apport de nouvelles satisfaisantes concernant les familles par exemple. Encore faut-il que ces lettres soient écrites

d'une façon adéquate, et il y aurait long à dire sur la maladresse involontaire de certaines lettres.

Or, le courrier peut avoir un effet désastreux, chez d'autres sujets. A certaines périodes, les envois de courrier entraînaient chez certains groupes, une baisse du moral général. On comprend aisément pourquoi. Sans parler de la solitude de ceux qui ne reçoivent rien, alors que leurs camarades sont abondamment pourvus, on conçoit que l'évocation d'une vie familiale aimée ou, à l'inverse, de soucis domestiques devant lesquels on est désarmé, puisse accentuer, ou bien diminuer, la sensation d'éloignement. Pour les anxieux, la lecture du courrier est souvent d'effet désastreux. Pour d'autres encore, elle accentue douloureusement l'impression de frustration des êtres aimés. Elle provoque une évocation trop précise d'un monde dont on est séparé et qu'il vaut mieux passagèrement oublier. La cristallisation affective, par exemple, que certains développent considérablement autour d'une femme éloignée, se trouve aussi exacerbée avec une composante sexuelle certaine.

La privation sexuelle doit en effet être citée, comme conséquence de l'isolement.

Si la majorité des sujets y réagit favorablement, il est probable qu'un brusque sevrage chez des individus menant auparavant une vie sexuelle active, n'est pas sans conséquences physiologiques, et sans influence sur le caractère des hommes.

Plus les conditions climatiques sont défavorables, moins le sevrage sexuel pose de vrais problèmes. D'autres impératifs immédiats le relèguent au second plan, et affaiblissent la libido. Mais que les conditions de vie deviennent confortables (et ce sera de plus en plus le cas des expéditions actuelles) l'abstinence sexuelle laissera réapparaître ses effets.

L'homosexualité acquise, classique boutade, n'est qu'exceptionnellement rencontrée. On en cite un cas, lors d'une expédition américaine où elle prit une forme sublimée et se termina par un suicide.

Par contre, *l'onanisme* n'est pas rare, et nous l'estimons pratiqué par au moins 30 % des sujets jeunes. On assiste d'ailleurs à une sidération progressive de la libido, et il est classique de noter une impuissance passagère au retour d'une longue expédition. Il est préférable de toute façon, d'éviter toute provocation de la libido. Ainsi, l'affichage d'images de nus féminins est-il très rare chez les Français, répudié par la plupart des sujets évolués; seulement défendu par les plus frustrés, qui confondent imprudemment désir et assouvissement. De même, les conversations restent-elles assez pudiques, pour une communauté d'hommes, si l'on excepte la traditionnelle gauloiserie qui n'est pas précisément érotique.

Un certain parti-pris de misogynie, un peu outré, s'affiche volontiers.

Plus que des troubles sexuels proprement dits, l'absence d'éléments féminins entraîne une modification du comportement dont le médecin est souvent le témoin. Habitué à être le plus souvent entouré des soins et de la sollicitude féminine maternelle ou conjugale, l'homme isolé devient plus vulnérable, et craintif quant à son état de santé. Et l'on voit de robustes athlètes venir soudain confier au médecin d'infimes malaises, pour lesquels ils n'auraient jamais consulté dans leurs pays, attentifs au moindre petit trouble fonctionnel, en quête d'un mot rassurant, d'une médication mineure quasi familiale, bref, d'un peu de cette sollicitude dans laquelle ils vivaient et qui soudain leur fait défaut.

Pour toutes ces raisons, nous pensons que, pour l'ensemble des hommes, le courrier ne gagne rien à être trop fréquent, et que les communiqués officiels, impersonnels et rassurants, sont tout aussi indiqués.

Nous avons rapidement passé en revue les plus importants aspects psychologiques qui se posent lors d'une expédition. Il en est d'autres, multiples, tels ceux relatifs à l'autorité des chefs, aux confrontations de niveaux sociaux et culturels différents. La tolérance mutuelle est la qualité primordiale; les plus intelligents doivent faire les plus intelligentes concessions et éviter les conflits durables. Il est des défauts simplement pénibles, pour la vie communautaire : l'irritabilité, l'esprit de contradiction, le manque d'hygiène, la vanité, avec lesquels il faut faire bon ménage; mais il en est un qui justifierait l'éviction d'un candidat : *l'égoïsme affirmé*, qui peut, dans les cas extrêmes, devenir criminel (on en connaît des cas historiques).

Tout au long de cet exposé, nous avons pu paraître pessimiste et sévère. C'est d'une part dans un but de clarté, que nous avons surtout mis en relief les *écueils* psychologiques qui menacent un groupe en expédition. D'autre part, l'homme étant ce qu'il est, le fait qu'il soit d'ordinaire noyé dans la masse d'une population amortit ses aspérités. Au contraire, isolé dans une expédition, son caractère se dénudera peu à peu jusqu'à prendre un aspect caricatural. Pour réaliser l'équipe harmonieuse dont nous parlions plus haut, on doit agir, sur la sélection caractérielle préalable des sujets, d'autre part, éviter sur le terrain, un certain nombre de maladresses, dont les effets seront disproportionnés, avec leurs causes.

Il est hors de doute, que toutes précautions étant prises par ailleurs (alimentation, protection vestimentaire, etc.) c'est finalement le moral, la volonté de s'intégrer et de réussir, qui conditionneront le bon rendement d'une expédition. La première condition nous paraît

être que chaque sujet se présente au départ parfaitement armé, et libéré de toute hypothèque d'anxiété. Il doit pouvoir se consacrer tout entier à la nouvelle lutte qui l'attend. Acceptant avec plaisir le travail qu'il a choisi, il se trouvera dans les meilleures conditions physiques de réussite. Biologiquement, il augmente d'une façon croissante, son excitabilité nerveuse, facilitant aussi l'activité musculaire, et retardant l'état de fatigue. Bien plus s'il a brusquement à faire face, s'il est brutalement placé dans des conditions de survie (et ce risque n'est jamais exclu), lui seul pourra opposer une réponse adéquate, mobiliser toutes ses ressources énergétiques sans handicap préalable. Or, cette réponse est aussi indispensable à sa sécurité qu'à celle du groupe tout entier.

Dans l'étiologie de la fatigue en expédition polaire, on ne pourrait citer le travail musculaire, le froid, ou l'altitude, sans mentionner l'importance capitale d'une bonne condition psychologique, *base* de toute réussite.

QUATRIEME PARTIE

DISCUSSION DES RÉSULTATS

I. — COURBES D'EXCITABILITE (Fig. 3)

Nous ne pouvons que regretter de n'avoir pas en notre possession un plus grand nombre de tracés. Aussi, leur nombre modeste ne prête-t-il pas à une étude statistique.

L'intérêt de ces courbes vient du fait qu'elles aient été les premières, réalisées en pays polaire; et que les premières constatations soient telles, qu'elles justifient la poursuite d'une plus vaste étude dans cette direction.

Seule, la multiplicité des courbes d'E.N.M., et surtout leur confrontation avec les dosages humoraux nous permettront un jour d'affirmer le mécanisme intime de la fatigue des sujets transplantés en pays polaires.

Cette première étude n'a donc d'autres prétentions que celle d'être un jalon. D'autre part, l'impossibilité d'effectuer sur l'Iccap des dosages hormonaux, parallèlement aux examens électriques, nous réduit à formuler les hypothèses, en accord avec la conception actuelle de la fatigue et après *analyse des éléments étiologiques particuliers* qui la conditionnent.

On s'apercevra que la plupart de ces éléments étiologiques agissent *dans le même sens*, et concourent à donner à cette forme clinique, qu'est la fatigue polaire, sa silhouette personnelle et originale.

A) Aspect général des courbes.

De la majorité on constate d'emblée, une importante perturbation des tracés, qualitative et quantitative, dont l'élément le plus frappant est *l'hypoexcitabilité nerveuse*.

Cette hypoexcitabilité entraîne un pincement de l'état nerf-muscle, souvent un croisement des courbes, et dans un nombre appréciable de cas, une inversion des courbes, aspect extrême que l'on retrouve en médecine sportive, chez l'athlète claqué.

Rappelons que ces tracés ont été effectués chez des sujets en fin

d'expédition, présentant une lassitude et une sensation de fatigue modérée, mais non d'épuisement.

Il y a donc discordance entre les symptômes cliniques modérés et l'aspect sévère des tracés, traduisant des troubles métaboliques graves :

- dans 29 % des cas, on note une inversion des courbes;
- dans 29 % des cas, il y a croisement des courbes;
- pour 25 %, on note un pincement très net des tracés;
- enfin 17 % des tracés paraissent pratiquement normaux.

Le polymorphisme des tracés est également un fait marquant, les troubles portant tantôt sur le muscle, tantôt sur le nerf, bien que ce dernier soit beaucoup plus souvent intéressé. C'est pourquoi nous allons analyser séparément courbe musculaire et courbe nerveuse.

B) Courbes musculaires.

Dans l'ensemble, l'excitabilité musculaire est peu modifiée.

16 courbes s'avèrent normales, une seule courbe montre une hyperexcitabilité franche.

10 courbes révèlent une faible hypoexcitabilité, variation se faisant donc dans le même sens que celle du nerf, les modifications sont faibles.

Les rhéobases musculaires sont comprises entre 1,5 et 4,7 mA.

Leur moyenne se situant autour de 3 mA, ce qui peut être considéré comme normal pour le muscle opposant du pouce. Plus intéressants, et non proportionnels aux rhéobases, les chiffres de *chronaxies* témoignent de l'irrégularité des tracés. Ainsi tel tracé (m1) qui montre une légère hyperexcitabilité dans les temps longs (1,5mA) offre une chronaxie de 1 ms. Tel autre (m2) dont la rhéobase est de 6,3 mA a une chronaxie de 0,4 ms.

En ne considérant que les *chronaxies des muscles*, on trouve des chiffres limites de 0,5 ms à 7 ms. La moyenne des chronaxies est de 2,18 ms; 6 courbes ont une chronaxie égale à 0,5 ms; 6 autres égales à 1 ms; mais 3 courbes accusent une chronaxie de 5 ms et 2, de 7 ms; donc très élevées.

La valeur des chronaxies est évocatrice d'une *hypoexcitabilité musculaire* dans près de la moitié des cas.

On doit tenir compte ici de la modification d'aspect des tracés. En effet, ceux-ci sont surtout déformés dans les temps moyens.

Parmi ces déformations, on peut distinguer deux altérations différentes.

1° *Des aspects en paliers et lignes brisées*, que l'on retrouve sur plus de la moitié des courbes.

Il faut faire la part, dans ces images des *artefacts*, de l'examen et l'on sait qu'un très léger déplacement de l'électrode active et peut entraîner des brisures de ce genre, sans aucune signification. Mais il est tout de même frappant de constater que ces paliers intéressent la plupart du temps, *les temps moyens*, donnant aux courbes une silhouette caractéristique de ce que Laborit et Coirault ont appelé les *cupules* et les *crochets magnésiens*.

En observant l'aspect des segments temps moyens, on note le plus souvent un aspect curviligne vers le bas, voire même la disparition des temps moyens, ce segment étant incorporé dans le segment des temps longs. C'est le cas, en particulier, des courbes 5, 6, 9, 14, 19, 20, 23 et 27. A l'opposé, un petit nombre de segments moyens présente les modifications inverses : aspect de chapeau chinois, paliers et crochets empiétant tantôt sur les temps courts, tantôt sur les temps longs.

Selon R. Coirault, le segment des temps moyens serait le reflet des variations humorales de réplétion ou dépression du magnésium. C'est ainsi que les premiers aspects (curvilignes) seront évocateurs d'un déficit en magnésium, tandis que les seconds témoigneraient d'une rétention magnésienne. Laborit et Coirault ont retrouvé ces aspects chez tous les sujets présentant soit une hypermagnésiurie (perte de magnésium cellulaire), soit une hypomagnésiurie (rétention).

Il est évident que les mouvements du magnésium, dont le rôle dans le métabolisme cellulaire est loin d'être totalement élucidé, ne se fait pas isolément, et sont, dans une certaine mesure, en corrélation avec les mouvements du potassium.

Si l'on reconnaît au segment des temps moyens la signification que lui attribue R. Coirault, on retiendra que chez nos sujets, cette variation s'est faite le plus souvent dans le sens d'un déficit magnésien. Dans quelques cas, dans le sens d'une rétention (sujets *jeunes ou récemment arrivés* : courbes 8, 11, 13, 24 et 25). Cette contradiction peut s'expliquer de diverses manières. Il est possible que l'examen électrique n'ait saisi là que les 2 phases opposées d'une variation biologique à caractère vraisemblablement oscillant. D'autre part, si l'on admet chez nos sujets l'existence d'une déperdition potassique lente, mais prolongée, dont les tracés nerveux sont plus évocateurs, une autre explication biologique se propose. R. Coirault a montré qu'à l'échelon cellulaire, dans tous les cas, où il y a une perte de K^+ , il y a inversement une relative rétention de Mg^{++} . Tout se passe comme si Mg^{++} prenait provisoirement la place du K^+ . Cette rétention (crochets magnésiens) n'est que momentanée, et si le déficit potassique persiste, on voit à son tour Mg^{++} quitter le milieu cellulaire.

Ce phénomène expliquerait que l'on ait retrouvé des aspects de rétention magnésienne chez les sujets arrivés depuis peu sur le terrain ou plus jeunes, et plus résistants, vus à un stade métabolique antérieur; chez les autres sujets, en fin d'expédition, les tracés refléteraient une légère déficience magnésique et probablement potassique associée.

2° *La tendance linéaire* de certaines courbes est également un point marquant. On la retrouve, entre autres, sur les courbes 6, 19, 9, 22, 23.

Sa signification est très péjorative, évoquant un trouble profond du métabolisme, et en tout cas, la souffrance du muscle.

C) Courbes nerveuses (N. Médian).

Comparés au muscle, les nerfs présentent des tracés beaucoup plus perturbés. *Hypoexcitabilité nerveuse considérable*, qui, dans 29 % des cas place la courbe nerveuse *au-dessus* de celle du muscle, et dans également 29 % des cas détermine un croisement des 2 courbes, deux aspects évocateurs de fatigue aiguë. Près d'un tiers de courbes a une rhéobase égale ou supérieure à 4.

Les chiffres extrêmes de rhéobase sont 1 mA et 5 mA. *La moyenne* des rhéobases est de 3,09 mA. Mais là encore, si l'on revient à la notion des *chronaxies*, les résultats apparaissent différents, certains tracés tendant à la verticalité.

Ainsi la courbe 27, dont la rhéobase égale 2,5 a une chronaxie élevée à 5 ms. A l'opposé, la courbe dont la rhéobase égale 5, n'a qu'une chronaxie de 0,8 ms.

La moyenne des chronaxies nerveuses est égale à 2,5 ms. Les chiffres extrêmes étant de 0,8 ms et 8 ms.

Si 10 courbes ont une chronaxie égale ou inférieure à 1; 5 courbes ont une chronaxie égale et supérieure à 5; sept courbes ont une chronaxie élevée à 2 ou 3 ms.

Retenons donc que 60 % des courbes ont une chronaxie supérieure à 1, ce qui correspond aux courbes inversées par rapport à la courbe musculaire, et à la majorité des courbes croisées avec la courbe musculaire homologue.

Les modifications d'aspects sont grossièrement les mêmes que celles que nous avons retrouvées sur les courbes musculaires. Tracés altérés, en paliers, en crochets, présentant de nombreuses brisures. Mais l'étude isolée des courbes musculaires ou nerveuses ne saurait être qu'artificielle, et seule leur comparaison donne une pleine signification aux altérations mises en évidence.

D) Aspect comparé des tracés.

1. Il est rare de trouver une courbe musculaire altérée coexistant avec une courbe nerveuse normale.

2. Un certain nombre de courbes nerveuses perturbées par contre, s'accompagne d'une courbe musculaire normale. La courbe 1 en est un exemple caractéristique.

Il est évident que cette dépolarisation nerveuse isolée, coexistant avec un muscle qui paraît intact, est grandement évocatrice d'une *fatigue centrale*.

3. La majorité des courbes enfin, juxtapose une atteinte musculaire et nerveuse jouant le plus souvent dans le sens d'une *hypoexcitabilité* modérée pour le muscle, importante pour le nerf.

— Certaines de ces altérations sont globales et considérables, donnant des tracés du type polynévritique. Tel est le cas du tracé 19, effectué d'ailleurs chez un militaire récemment arrivé sur le terrain, mais présentant une importante imprégnation éthylique.

— Ce cas est rare, et ainsi que nous l'avons vu, la plupart des tracés montrent une altération de 2 courbes, mais prédominant sur le nerf.

— Quant aux modifications d'aspect, il est intéressant de rechercher leur coexistence sur les deux courbes homologues, laquelle, lorsqu'elle se retrouve, infirme l'hypothèse d'une erreur technique.

— On constatera ainsi que l'on retrouve sur les altérations des temps moyens sur le nerf et le muscle, quelques courbes présentant même des paliers ou des crochets *parallèles*. Telles les courbes 11, 8, 5, 24.

— De même la *tendance linéaire* de certains graphiques se retrouve presque toujours chez les deux courbes homologues (voir les courbes 19, 9, 6).

En résumé : On peut dire que la majorité des tracés présente de grosses altérations :

— *quantitatives*, dans le sens d'une hypoexcitabilité surtout nerveuses;

— *qualitatives*, aspect en ligne brisée, de deux courbes avec *tendance linéaire* de certains d'entre eux.

Ces aspects sont la traduction électrique des troubles métaboliques importants, cause ou conséquence de la fatigue.

E) Pathogénie des troubles métaboliques.

Elle est naturellement fort complexe.

Nous avons dit que les sujets examinés, se trouvaient être en fin d'expédition, et se plaignaient d'une fatigue générale mais modérée. Comment expliquer alors de tels troubles métaboliques ? *L'expédition s'est comportée envers eux comme une agression, ou plutôt comme l'ensemble d'une multitude d'agressions.* Il est possible de mettre chacune d'elles en cause successivement.

L'altitude et la souffrance métabolique que peut entraîner un *apport limité, prolongé d'oxygène* : L'agression ne se limite pas là, et l'on a vu que *l'abaissement extrême du degré hygrométrique de l'air* favorise, par perspiration et par les voies respiratoires, une perte hydrique importante. Cette perte hydrique explique probablement une grande partie de la perte pondérale observée chez la totalité des sujets. Mais ses conséquences métaboliques sont plus complexes. Cette perte d'eau ne s'accompagne pas d'une perte parallèle de Na, et il est possible d'envisager, chez des sujets recevant par ailleurs une alimentation de conserves, très riche en sodium, une rétention sodée. La diurèse est en effet diminuée du fait des autres voies d'éliminations hydriques.

Le froid est une autre agression, physique et chimique et l'on sait les dépenses énergétiques qu'elles imposent à l'organisme. Froid et altitude sollicitent également le système endocrinien, en particulier la *surrénale*, et il faut également envisager une cause endocrinienne à ces troubles métaboliques. *L'alimentation de conserve*, pour riche et équilibrée qu'elle ait paru être, a pu intervenir par un déficit d'apport vitaminique ou un excès sodique par exemple, plutôt que par une peu probable déficience en A.T.P., en potassium, en magnésium. Mais le sujet placé dans les conditions de vie polaire définies plus haut, agressé par le froid, l'altitude, le travail et l'isolement, accède certainement à un métabolisme modifié, quantitativement et qualitativement.

Il est possible qu'un apport ionique suffisant pour un sujet normal devienne insuffisant pour lui et que l'adjonction supplémentaire de quelques oligo-éléments lui soit nécessaire, et suffise à corriger ces troubles.

Enfin, à un échelon supérieur, on peut supposer que les individus, recevant les substrats indispensables et suffisants à un métabolisme cellulaire adéquat, ce métabolisme sera vicié par un trouble de la régulation dont seraient responsables le rhinencéphale et la substance réticulée (influence du psychisme).

Avant de tenter la synthèse de toutes ces hypothèses, il nous

reste à envisager l'influence sur les résultats de quatre facteurs : l'âge, la profession, la nationalité et la durée de l'expédition.

— *La notion d'âge* : intervient peu.

Si le meilleur tracé a été obtenu chez un sujet jeune, âgé de 27 ans (courbe 14), une inversion franche des tracés est notée chez plusieurs individus jeunes, dont un de 22 ans (16).

A l'opposé, la courbe 6 montre un tracé pratiquement normal chez un sujet de 57 ans.

Le rôle de l'âge semble donc influencer peu sur les résultats.

— *La nationalité* n'influence pas non plus les résultats. La même proportion de tracés perturbés se retrouvent chez les uns et les autres. Rappelons qu'en fait tous les sujets étaient originaires d'Europe occidentale.

— *La profession* exercée au sein de l'expédition ne trouve pas de reflet sur les résultats.

Les mécaniciens, les travailleurs manuels n'accusent pas de résultats plus défavorables que les autres. Bien plus, il semble que les travailleurs intellectuels aient été davantage touchés, ce qui peut soit résulter de leur constitution plus frêle et de leur moindre entraînement, soit mettre en relief le rôle de la fatigue intellectuelle et de la tension nerveuse. De plus, les scientifiques n'étaient nullement dispensés des travaux physiques courants, qu'ils partageaient avec la communauté.

— *La durée de l'expédition* (évolution dans le temps).

Toutes nos courbes ont été malheureusement relevées pendant la dernière partie de l'expédition.

Si beaucoup de sujets ont été testés à deux reprises, à 3 semaines d'intervalle, il eut été du plus haut intérêt de posséder leurs courbes de départ, et celles des deux premiers mois du raid.

Ce n'est que par comparaison avec la courbe type du sujet normal que nous pourrions interpréter nos résultats.

a) Une occasion de grand intérêt nous fut donnée par l'arrivée sur l'Iccap, fin juillet, d'un petit groupe de jeunes militaires appartenant à un détachement hélicoptère. Ces hommes âgés de 25 ans en moyenne étaient encore en France 20 jours plus tôt, et séjournaient sur l'Iccap depuis 10 jours lorsque nous les avons testés. Leur courbe fournit un élément de comparaison intéressant par rapport au reste de l'expédition présente sur le terrain depuis 5 mois.

Ainsi que l'on pouvait s'y attendre, leur tracé s'est avéré normal dans 3 cas sur 4, le 4^e appartenant à un sujet éthylique et pusilla-

nime, 2 raisons qui rendent suspect le résultat (courbe 19). La courbe 18 présente un léger pincement, il s'agissait d'ailleurs d'un sujet déjà asthénisé à son arrivée. Les courbes 24 et 25 par contre sont normales, bien que présentant, dans les temps moyens, des paliers évoquant les crochets magnésiens. On peut voir dans ces paliers le premier signe en date d'altérations qui auraient évolué par la suite vers un croisement ou une inversion des courbes.

Intéressantes par leur opposition avec les autres tracés, ces courbes nous montrent selon toute vraisemblance, l'image qui devait être celle de la plupart des participants, au début du raid. Celles-ci nous montrent également que les premières modifications ne sont pas longues à apparaître puisqu'au 20^e jour du départ, on constate déjà des décalages et des paliers.

b) *L'étude des résultats individuels* confirme ce rythme évolutif d'une manière assez nette.

1. Si l'on groupe tous les tracés des sujets testés à leur 3^e mois d'expédition, on trouve sur 8 courbes : une seule courbe inversée, 2 courbes seulement croisées à leurs extrémités (temps courts), 5 courbes très peu altérées et pour lesquelles le nerf reste toujours plus excitable (courbes 5, 10, 14, 12, 22, 3, 20 et 1).

2. Pour les sujets examinés au 4^e et 5^e mois de l'expédition, on note sur 12 courbes :

— aucune courbe normale,

— 6 courbes nettement inversées,

— 5 courbes nettement croisées,

— 1 courbe très pincée avec grosse hypoexcitabilité globale (courbes 26, 27, 11, 6, 16, 17, 15, 7, 13, 23, 8 et 9).

Alors qu'au 3^e mois, on retrouve plus de la moitié des courbes soit normales, soit peu altérées, au 4^e et 5^e mois, on ne retrouve plus aucun tracé normal, et la moitié des courbes est inversée, les autres se chevauchant.

3. Enfin, parmi les quelques examens renouvelés à 25 ou 30 jours d'intervalle chez les mêmes sujets, on retrouve une légère aggravation des tracés, surtout lorsque le premier tracé était encore peu altéré, ce qui correspond à une rapidité d'évolution différente.

4. *Test thérapeutique* : Aucun test thérapeutique n'a été pratiqué à l'exception de deux cas, qui ne prêtent pas à conclusion. *Hors le*

1^{er} cas (26 et 27) un deuxième test a été effectué après que le sujet ait reçu de la vitamine C à forte dose (1,5 g par jour, pendant 4 jours). Le premier tracé montrait une inversion des courbes. Le second montre l'amorce d'un croisement, avec baisse de la rhéobase nerveuse, qui devient inférieure à la rhéobase musculaire. En réalité, les chronaxies n'ont guère changé. Laborit voit dans cette amélioration l'effet de la vitamine C, non pas par une action dynamique, mais par son apport chez un sujet qui en serait privé.

A.T.P. : le 2^e cas concerne un sujet qui présentait une grosse inversion de ses courbes (8). Il reçut de l'A.T.P., 30 mg par jour, 10 jours de suite. Le tracé pratiqué alors montre une baisse globale des deux rhéobases, avec croisement des courbes. Mais là encore, bien que la rhéobase nerveuse ait diminué de moitié, la chronaxie nerveuse n'a pas changé.

Ces deux essais étant isolés, il va sans dire que nous n'en tirerons aucune conclusion.

F) Synthèse de ces résultats.

Le problème est ainsi posé. L'ensemble des courbes traduit chez les sujets, en fin d'expédition et s'accroissant avec le temps, des troubles de l'E.N.M. à type d'hypoexcitabilité. Les sujets sont-ils en état de dépolarisation ?

Des facteurs d'agression analysés plus haut, il est certain qu'aucun d'eux ne joue isolément. Leur somme ou la somme d'une fraction de chacun d'eux fera finalement pencher la balance vers un déséquilibre métabolique. D'où les 4 hypothèses suivantes :

1) Hypothèse métabolique.

S'il est rarement primaire, on a vu que le trouble métabolique est l'aboutissement fatal de toutes les formes de fatigue.

On peut incriminer successivement dans sa genèse :

a) *Une carence d'apport* des substrats nécessaires à un métabolisme accéléré : glucose, A.T.P., vitamine C et vitamine B⁶.

Elle est peu probable en raison de la richesse et de la diversité des rations. Retenons cependant la possibilité d'une carence relative en vitamine C et en vitamine du groupe B.

b) *Apport ionique.*

1) Une déplétion potassique peut être discutée :

— *par carence d'apport* : très improbable avec notre régime riche-ment carné, quoique pauvre en légumes;

— *par fuite potassique*;

Plusieurs faits peuvent l'expliquer, en particulier les réactions cortico-surrénaliennes qui, nous l'avons vu, comportent une sécrétion exagérée d'aldostérone, et des 17 desoxy, rendant négative la balance potassique;

— l'existence d'un catabolisme protidique cellulaire important.

Cette baisse du potassium s'accompagne, selon toute vraisemblance, d'une fuite de magnésium et probablement de calcium, dont les destinées sont classiquement parallèles.

Cette hypothèse est intéressante, en ce sens qu'elle explique, au niveau cellulaire, la dépolarisation et l'hypoexcitabilité que reflètent nos tracés.

2) *L'ion Na^+ .*

Ici, encore, plusieurs faits pourront témoigner en faveur d'une *réten-tion sodée*.

Cette rétention, favorisée, nous l'avons vu, par un apport alimentaire très riche en Na^+ , se trouverait justifiée par :

1° *L'importante déperdition hydrique* (voies respiratoires et respi-ration) sans déperdition sodée associée (oligurie) ;

2° *La sécrétion accrue d'aldostérone*;

3° *La sécrétion accrue des 17 desoxy*, et l'élévation du rapport 17 hydroxy/17 desoxy, facteur de rétention sodée, parallèlement à la déplétion potassique;

4) Rétention sodée favorisée encore par l'agression du froid, engendrant une concentration sanguine et une mobilisation de liqui-des, ainsi que l'a montré L. Binet.

5° Rétention sodée en accord avec la déperdition potassique et magnésienne dont on connaît les relations à l'échelon cellulaire (« à fuite potassique, rétention sodée »). Retenons donc la possibilité :

— d'un déficit, en K^+ , Mg^{++} , et peut-être Ca^{++} ;

— d'une rétention sodée.

3) *La fuite de magnésium* (dont R. Coirault a montré le rôle dans la protection cellulaire contre l'intrusion sodée et le rejet du

sodium retenu en excès) provoquera le phénomène inverse. Pénétration excessive de l'ion Na^+ dans la cellule, altération du jeu de la « pompe à Na », gênant le rejet de Na^+ et la rentrée du K^+ dans la cellule; en un mot, gênant la repolarisation de la cellule. Cet état s'accompagnera d'une dépolarisation cellulaire, et de cette hypo-excitabilité que nous retrouvons sur tous *nos tracés*.

On voit bien que ce *trouble métabolique final*, s'il explique les signes de souffrance cellulaire, n'est pas une cause en soi, mais met en cause l'intervention de nombreux facteurs *concordants* : déplétion hydrique (altitude), froid, apport alimentaire, etc., la sanction thérapeutique en découle aisément.

2) Hypothèse endocrinienne.

Nous venons de l'évoquer. Ses conséquences sont celles des troubles métaboliques que la réponse endocrinienne entraîne ou favorise.

La participation cortico-surrénalienne est plus que probable, en réponse aux stress que représentent le froid, l'exercice physique, la tension psychologique et la fatigue elle-même, réponse au froid, ainsi que Benow (1943) et de nombreux auteurs l'ont mis en évidence. Réponse à l'altitude, ainsi que nous l'avons noté, au chapitre correspondant. Réponse à la fatigue musculaire enfin, comme l'ont montré : Albeaux-Fernet, Bugard et Romani.

Cette réponse comporte, rappelons-le :

1° une élévation de l'*aldostérone* répondant à la perte hydrique isolée, aux facteurs émotifs, favorisant la rétention sodique;

2° une élévation des métabolites des glycocorticoïdes, en particulier la corticostérone. Cette sécrétion accrue des hormones catabolisantes précipite finalement la fatigue, si elle inhibe en partie la sécrétion d'aldostérone, elle favorise, on l'a vu, par l'excès de 17 desoxy par rapport aux 17 hydroxy, la fuite potassique;

3° Une baisse probable des 17 céto-stéroïdes, aggravant le catabolisme protidique.

Les conséquences métaboliques de ces variations endocriniennes sont celles que nous avons envisagées plus haut.

Elles sont liées et concomitantes. La participation surrénalienne devra être mise en évidence par des *dosages biologiques*, du plus haut intérêt chez de tels sujets.

3) Hypothèse physique.

a) *Le rôle immédiat du froid, sur l'excitabilité neuro-musculaire* qu'il diminue, a été volontairement éludé par les conditions de

l'examen : sujet réchauffé, examens effectués dans un véhicule chauffé, et procurant une température ambiante d'au moins $+15^{\circ}$;

b) *Le rôle de l'altitude* a été déjà discuté. On sait que la baisse de pression atmosphérique entraîne une élévation parfois considérable des chronaxies (Beyne et Chauchard). L'anoxie n'est pas seule en cause, puisque l'on retrouve cette hypoexcitabilité chez des sujets munis d'inhalateurs.

Cependant, la lenteur de l'ascension, et surtout l'altitude moyenne atteinte, permettent d'éliminer l'hypothèse d'une action directe de la dépression atmosphérique.

c) *Le rôle de l'hyperventilation pulmonaire* enfin doit être évoqué. Chez le sujet normal, elle aboutit à une alcalose. Cette alcalose favorise normalement la repolarisation cellulaire, en facilitant l'enrichissement cellulaire en K^{+} (Arvanitaki). En altitude cependant, cette hyperventilation n'est que réactionnelle à l'anoxie, et à l'acidose qu'elle entraîne. Elle n'aboutit donc qu'à une alcalose passagère; si la réserve alcaline s'abaisse suffisamment, le pH sanguin sera à la longue abaissé. Si le même sujet doit *en même temps* faire face au froid, sa réserve alcaline est déjà sollicitée par l'acidose qu'entraîne l'hypermétabolisme d'une thermogénèse accrue. Il n'est pas exclu que l'on retrouve finalement chez ces sujets, vivant au froid et à l'altitude une légère acidose, laquelle, classiquement, appauvrit la cellule en K et favorise la dépolarisation (fatigue).

4) Hypothèse neurologique.

Nous avons longuement envisagé l'aspect psychologique de la vie polaire. Nous avons vu que bien des sujets aboutissent à un climat de tension psychologique qu'il soit créé par l'environnement, par l'éloignement, par l'exacerbation de psychoses déjà acquises, ou par la rencontre de situations nouvelles; nous avons vu les répercussions que cet état émotif entraîne à l'étage du rhinencéphale.

L'expérience humaine a montré que si les satisfactions favorisent la repolarisation cellulaire, inversement l'émotion désagréable entraîne le plus souvent une hypoexcitabilité notable avec inversion neuromusculaire, et sensation de fatigue.

Il ne faut pas surestimer le rôle du psychisme dans la genèse de la fatigue de même qu'il serait déraisonnable de lui imputer exclusivement la dépolarisation de nos sujets. Mais il est certain qu'il participe, pour sa part, à l'ensemble des causes, et que son retentissement à l'échelon métabolique est un fait démontré expérimentalement et par la pathologie mentale.

Notons à ce sujet deux remarques :

1° Nous n'avons rencontré, contrairement à nos prévisions, aucune *insomnie* réelle durant toute la campagne d'été. Ceci s'explique par le fait que la fatigue des hommes correspondait à une *dépolarisation modérée*. Le sommeil joue alors en tant que facteur de repolarisation, et les besoins en sommeil étaient en général accrus; le repos procuré, efficace. Ceci s'oppose à l'insomnie si souvent constatée dans les bases d'hivernage sédentaires.

La baisse de l'ensoleillement, et la suppression de toutes activités physiques s'accompagne vraisemblablement d'un état de surpolarisation entraînant des troubles du sommeil. Les hivernants se disent énervés, trop surexcités pour dormir. La seule insomnie que nous ayons eue à traiter, fut celle d'un sujet surmené (chef de groupe) et dont la courbe d'excitabilité inversée (n° 26) traduisait une forte dépolarisation. Il s'agit d'un état opposé, dans lequel la dépolarisation, souvent extrême, jointe à la tension psychique engendre des troubles du sommeil.

2° *L'existence d'une fatigue nerveuse*, centrale, coexistant avec un muscle intact, apparaît sur certains tracés dans lesquels une courbe nerveuse hypoexcitable accompagne une courbe musculaire normale.

A ce propos, le choix du muscle opposant du pouce, qui nous a été dicté par la tradition et par des raisons pratiques (d'autant que le membre supérieur est plus souvent impliqué dans le travail polaire que le membre inférieur) peut sembler discutable.

Nous n'avons pu pratiquer que deux examens du membre inférieur (courbes 2 et 4). Pour le premier cas, l'examen montrait au muscle inférieur (M. Jambier Antérieur et N. Sciatique poplitée Extérieur) un tracé normal, alors qu'au membre supérieur on trouvait une grosse inversion.

Cette discordance évoque la notion de *dépendance psychique* (Coirault).

Les muscles les plus différenciés de la mobilité volontaire, tel l'opposant du pouce, sont, plus que tout autre, soumis à l'influence corticale. On sait que dans l'Atlas cortical, la main occupe une place considérable. On peut penser que ces muscles seront davantage dépendant de l'état psychique du sujet, et que toutes les perturbations émotives par exemple, auront sur eux une répercussion importante. C'est dire qu'ils ne peuvent prétendre refléter la condition physique réelle du sujet.

Les grands muscles de la statique, par contre, et les muscles du membre inférieur, présentent une plus grande indifférence vis-à-vis de l'influence psychique, qui les feront judicieusement rechercher,

chaque fois que l'on voudra étudier l'état physique du sujet, indépendamment des influences psychiques.

Il nous semble donc qu'il serait préférable, à l'avenir, d'orienter l'examen sur de tels muscles (jambier antérieur) ou mieux de comparer leurs réponses à celle de muscles les plus différenciés. Lorsqu'un sujet, comme le nôtre, présente un tracé normal (fig. 3, 1), associé à une grosse perturbation des muscles de la main, il est logique d'éliminer l'hypothèse d'une souffrance métabolique généralisée, et même d'une fatigue aiguë. L'extension systématique des examens électriques au membre inférieur, éliminera certainement les causes d'erreurs d'interprétation et précisera le niveau des troubles.

CONCLUSION

En résumé, s'il n'est pas possible avant la généralisation de bilans humoraux répétés, d'affirmer la pathogénie des troubles enregistrés, il reste qu'un certain nombre d'hypothèses semblent valables, et peuvent donner une orientation à une étude ultérieure.

De ces hypothèses, nous retiendrons avant tout, l'intrication probable des causes et des effets. Un épuisement métabolique isolé est inconcevable. Un trouble endocrinien sans répercussion métabolique est une vue de l'esprit.

Parmi les mécanismes envisagés, nous noterons principalement :

1. La réaction endocrinienne, essentiellement cortico-surrénalienne, telle que nous l'avons définie.

2. Réaction de réponse à divers stress, tels que le froid, l'altitude, l'effort dans le cadre des réactions d'adaptations de Selye.

3. L'influence de facteurs psychiques défavorables.

4. L'influence péjorative de facteurs tels que : la dépression atmosphérique, les pertes hydriques, l'hypercatabolisme entraîné par la thermogénèse de réchauffement, l'acidose.

5. *Toutes causes contribuant à des degrés divers, à un métabolisme cellulaire dérégulé, comprenant entre autres :*

— une légère insuffisance en potassium et magnésium;

— une rétention sodée modérée.

6. Tout ceci, enfin, concourant à entraver la repolarisation de la cellule, entretenant une *hypoexcitabilité neuro-musculaire*, terme cellulaire de la fatigue.

II. — RESULTATS DES MESURES CLINIQUES

Nous serons beaucoup plus bref à leur sujet, leur signification n'étant pas nouvelle et concordant avec ce qui a été dit de l'altitude et du froid.

Pouls au repos.

L'examen des courbes de pouls au repos (fig. 4) montre une accélération modérée du rythme, portant davantage sur le pouls du soir que sur celui du matin.

En fonction de l'altitude, on note, chez presque tous les sujets une tachycardie brutale à chaque élévation d'altitude, chaque fois suivie d'un ralentissement secondaire. Ces variations sont plus intenses pour les courbes du soir (système régulateur plus sollicité) où le pouls peut atteindre 140, pour une ascension de seulement 500 m (de 2 500 à 3 000 m) en 2 jours.

Cette bradycardie secondaire témoigne de l'adaptation. Pour Wyss-Dunant (Expéditions au Népal), elle classe le pouls de nos sujets dans l'une des deux meilleures catégories, la seconde étant celle du « pouls indifférent ».

La bradycardie s'accroît considérablement à la descente, probablement par l'effet d'un apport accru d'oxygène, chez des organismes adaptés à une relative anoxémie.

Pouls à l'effort.

Celui-ci révèle une susceptibilité accrue de l'organisme à l'effort musculaire. Au test de Schneider, on note une importante accélération du pouls atteignant 120 ou 130 pulsations après seulement 5 tractions.

Par contre, la période de retour à la normale a toujours été brève, chez tous nos sujets; inférieur à une minute pour la plupart, le ralentissement du pouls se réalise par de brusques oscillations.

Nous avons déjà analysé l'effet de l'oxygène sur le ralentissement cardiaque.

Tension Artérielle.

Celle-ci subit des variations peu importantes dans l'ensemble, et contradictoires.

Le mouvement général se fait dans le sens d'une légère baisse de

pression, portant sur le maximum et plus encore sur le minimum, baisse qui n'excède pas 20 mm de Hg.

L'ascension, contemporaine de la tachycardie, semble se traduire, par contre, par une légère élévation tensionnelle.

Enfin, la moitié des sujets ont la même P.A. à la fin du 3^e mois de raid, qu'en début du 2^e.

LES TESTS

Test de Schneider et Crampton.

Les résultats globaux, se situant autour de 13, peuvent être considérés comme satisfaisants.

Le résultat n'est pas différent, pour le groupe B (sujets plus âgés) dont la moyenne finale est de 12,3 (Schneider) et 78 % (Crampton).

L'évolution dans le temps se fait dans le sens d'une amélioration. Les mesures effectuées le 30 mai (2 850 m d'altitude), révélaient deux notes médiocres : 4 et 6. La principale cause de ces notes était la tachycardie au repos, et surtout à l'effort; tachycardie en position debout, et après l'exercice.

Ces sujets devaient doubler ou tripler leur note trois semaines plus tard. D'une part, du fait de leur adaptation, grâce à laquelle leur rythme était redevenu beaucoup plus lent; d'autre part, grâce au changement d'altitude; et le retour rapide à une altitude de 1 500 m s'est traduit chez tous nos sujets par une amélioration de tous les tests.

A une telle altitude, l'accélération du pouls après exercice est très inférieure à ce qu'elle était à 3 000. Le temps de retour à la normale, enfin, est toujours inférieur à 60 secondes.

En résumé, il est évident que l'altitude (l'anoxie) sensibilise considérablement les sujets aux tests de Schneider et Crampton, pour lesquels le rythme cardiaque et ses variations occupent la place la plus importante. Tout en étant moins sévère quant aux chiffres absolus, on peut les considérer comme étant d'un grand intérêt dans la mesure de l'adaptation à l'altitude. C'est qu'ils réalisent, nous l'avons vu, plus des tests de susceptibilité cardio-vasculaire à l'effort, que des tests de fatigue proprement dit. Ceci explique les discordances enregistrées entre des tests cliniques favorables, et les signes neuro-électriques très perturbés.

Test de Plas.

Ses résultats seraient considérés, à une altitude normale, comme médiocres. La plupart des chiffres sont inférieurs à l'unité. Dans le temps, ils ont peu varié. Là encore, une correction doit être apportée à l'épreuve initiale, en raison de l'anoxie. Ce n'est pas tant le résultat en valeur absolue que les deux éléments du rapport qui auront le plus d'intérêt.

Ainsi, les sujets ayant le meilleur résultat sont ceux dont le pouls était le plus lent, avant épreuve :

72	70
— = 1	— = 0,92
72	76

A l'opposé, ceux dont le rythme avant épreuve était déjà accéléré (ce qui n'est pas de mauvaise augure, au stade d'acclimatation), obtenaient de moins bons résultats, leur bradycardie étant relativement plus accentuée que les premières :

84	64
— = 0,83	— = 0,80
101	80

On peut donc distinguer les sujets déjà adaptés, dont la bradycardie avant apnée est normale, et doit peu s'accroître après apnée. Pour ceux-là, le test demeure valable et le résultat doit tendre à l'unité. D'autre part, les sujets en période d'adaptation, dont la bradycardie après apnée, contrastant avec leur habituelle tachycardie n'est qu'un indice précurseur de leur adaptation en cours. Ces mêmes sujets, vus un mois plus tard, auront un pouls au repos lent, et leur test sera alors satisfaisant. Ce n'est qu'une question de stade, et une plus grande pratique du test de Plas permettra peut-être de discerner chez les sujets amenés en altitude, à quels degrés d'adaptation ils se trouvent être. Moins que le résultat absolu de l'épreuve, les deux chiffres de la fraction seront alors à considérer.

Test d'apnée.

Le temps d'apnée volontaire n'a fait que croître pendant la durée de l'expédition, tant en expiration qu'en inspiration. Ceci se traduit par un gain de 12 secondes, en 48 jours, pour l'apnée expiratoire et de 13 secondes pour l'apnée inspiratoire. Les alpinistes constatent habituellement l'inverse, du fait de l'élévation constante de l'altitude

(Oudot-Annapurna). Le phénomène est ici inverse, les sujets stationnant longtemps à la même altitude, le processus d'adaptation se traduit par une baisse de la sensibilité à l'anoxie.

Aucune relation précise n'existe entre ces résultats, et la capacité pulmonaire des hommes. Il est même curieux de constater que les sujets à faible capacité pulmonaire, ont réalisé souvent de meilleur temps.

Mesure de la graisse corporelle.

Le chiffre moyen obtenu chez 5 hommes du groupe A est de 9 %, soit un peu plus élevé que la norme citée par Le Bideau, 8 % et Newmann (7,4 %). Les hommes étaient alors à leur 45^e jour de raid, mais certains déjà amaigris. Il est probable que la masse grasse des individus est peu touchée par la vie au froid, voire s'accroît, tandis que l'amaigrissement, constant, résulte de la déshydratation et du catabolisme protidique (J.-C. Diverres).

Au terme de cette analyse, nous allons dresser un tableau des mesures pratiques qu'il est souhaitable de prendre, dans l'organisation de la vie polaire et la lutte contre la fatigue.

Il convient d'assurer aux sujets :

— *un repos suffisant* (8 à 10 h de sommeil par jour) ;

— *une hydratation buccale* avec des liquides hypersucrés pour compenser la perte hydrique, abaisser la concentration ionique sodée (favorisant le rejet du sodium), mais compenser par un apport riche en sodium au *moment de l'effort* ;

— *un apport suffisant en substrats indispensables* au fonctionnement accéléré du métabolisme cellulaire :

a) glucose, aspartate, A.T.P., acide glutamique ;

b) vitamine C, vitamine B6 (Duchesnay, 1959) ;

— *un apport ionique de potassium*, nécessaire à la récupération du potentiel de repos cellulaire (2 à 4 g par jour) non pas sous forme de KCl (risque de déséquilibre entre le K^+ intra et extra-cellulaire) mais sous forme soit de végétaux : épinards, blé, pommes de terre, fruits secs — soit dans la viande — soit enfin sous forme d'aspartate ;

— *au besoin*, fournir de petites doses de tranquillisants, à titre de repolarisant cellulaire, parce qu'ils diminuent le tonus musculaire périphérique, facilitent le sommeil, modèrent la tension psychique;

— enfin, à doses faibles, l'emploi de *cortisone naturelle* pourra trouver sa place; place que précisera l'étude des troubles cortico-surrénaux en expédition polaire.

Par ailleurs, on recommandera une *ventilation pulmonaire* profonde, favorisant l'oxygénation et l'alcalose hypocapnique légère; l'usage du tabac gagnera à être très modéré.

De ces petites règles hygiéno-diététiques peut dépendre la forme du sujet, son rendement habituel et même, ses possibilités éventuelles de survie.

CONCLUSION

Ce travail porte sur l'étude de la fatigue des sujets vivant en régions polaires et dans les conditions d'une expédition polaire.

Il a été réalisé grâce à l'observation de deux groupes d'hommes, participant à l'Expédition Glaciologique Internationale au Groenland en 1959. (Réalisation technique : Expéditions Polaires Françaises. Missions Paul-Emile Victor.)

Deux méthodes d'examens furent utilisées :

1) *L'observation clinique* d'un premier groupe d'hommes jeunes — âgés de 23 à 39 ans — durant les 2^e et 3^e mois de l'expédition.

Cette étude clinique comportait :

- la prise quotidienne du pouls au repos,
- la mesure régulière de la pression artérielle,
- de la capacité pulmonaire,
- du temps d'apnée volontaire en inspiration et expiration forcées,
- de l'indice de graisse corporelle, par la méthode du pli cutané;
- trois tests cliniques dits « de fatigue » mesurant la susceptibilité cardio-vasculaire à l'effort et à l'anoxie : le test de Schneider, le test de Crampton, le test de Plas.

2) *L'observation paraclinique* d'un second groupe comprenant des sujets d'âge varié — 22 à 55 ans — durant le 4^e et le 5^e mois de l'expédition, par l'étude de l'excitabilité neuro-musculaire au rhéotome électronique.

Dans une première partie, les conditions techniques du travail ont été précisées, comprenant les facteurs ethnologiques, climatiques, météorologiques et topographiques, conditionnant la vie des sujets observés.

A cette introduction succède l'exposé des techniques employées.

Une deuxième partie est consacrée à la présentation des résultats :

— courbes d'excitabilité neuro-musculaire;

— résultats des différentes épreuves cliniques effectuées.

Une troisième partie expose d'abord les généralités essentielles sur la fatigue.

Cette étude théorique et analytique s'efforce de grouper les divers aspects cliniques et biologiques de la fatigue, actuellement connus :

Aspects métaboliques, endocrinien, neuro-électrique.

Afin d'analyser les caractéristiques propres à la fatigue des sujets vivant en régions polaires, nous avons ensuite passé en revue les différents facteurs d'agression spécifiques de la vie polaire (le froid, l'altitude, la nutrition, l'effort physique, la situation psychique) susceptibles de motiver la fatigue de l'homme transplanté en régions polaires.

La quatrième partie est consacrée à l'interprétation des résultats.

1) *Courbes d'excitabilité neuro-musculaire (Intensité-Durée).*

L'ensemble de ces courbes a montré chez les sujets en fin d'expédition et s'accroissant avec le temps, des perturbations importantes de l'excitabilité neuro-musculaire.

D'une part, des altérations morphologiques des tracés, avec brisures, paliers et tendance linéaire d'un certain nombre de tracés traduisent une souffrance cellulaire profonde. D'autre part, une hypo-excitabilité globale, avec nette prédominance nerveuse, entraînant dans 29 % des cas, un croisement, et dans 29 % d'autres cas, une inversion franche des courbes. Ces modifications témoignent d'un trouble métabolique sévère aboutissant à une hypoeccitabilité électrique.

Ils accompagnent généralement les états de fatigue aiguë et se retrouvent en médecine sportive chez les athlètes surmenés.

Ces résultats étant posés, le problème étiopathogénique restait entier.

Parmi les facteurs d'agression que comportent la vie et l'environnement polaires, lequel ou lesquels peuvent être tenus pour responsables des troubles métaboliques tels : dans quelle mesure y contribuent-ils et par quel mécanisme ?

Autrement dit, pourquoi des hommes d'âge moyen présentant au départ une condition physique satisfaisante, vivant pendant 5 mois à une altitude modérée, de 2 000 à 3 000 m exposés à un froid de -10° à -40°C contre lequel ils sont efficacement protégés par le vêtement; recevant une alimentation riche et équilibrée (mais de conserve seulement) pourquoi ces hommes présentent-ils, progressivement et dès le 2^e mois, des signes cliniques de fatigue, une perte de poids notable, une dégradation de leur forme physique, de troubles neuro-électriques considérables témoignant d'un métabolisme foncièrement perturbé ?

L'analyse détaillée de chaque forme d'agression nous a conduit à formuler un certain nombre d'hypothèses, dont chacune peut être plus ou moins incriminée dans ce dérèglement du métabolisme cellulaire, évoluant vers la dépolarisation cellulaire. Chacune d'elles joue en effet dans le même sens, et il est probable que les troubles métaboliques ne répondent pas à une seule cause, mais à l'intrication d'un certain nombre de facteurs étiologiques.

Parmi ceux-ci, nous retenons principalement :

— La possibilité d'une réaction endocrinienne avant tout surrénalienne :

de la médullo-surrénale, d'une part, réponse habituelle au froid et à l'altitude;

de la cortico-surrénale dont la réponse aux stress climatique, hypothermique, psychique et musculaire est probable. Nous avons indiqué qu'elle comportait avant tout une sécrétion accrue des 17 desoxy, avec élévation du rapport : 17 hydroxy/17 desoxy, que l'on retrouve constamment au cours de la fatigue chronique (Albeaux-Fernet). Cette sécrétion a des conséquences multiples, cataboliques; elle précipite la fatigue électrolytique, elle favorise la fuite potassique et la rétention iodée, source de dépolarisation.

Cette réaction endocrinienne ne saurait être isolée. Elle intervient au sein d'un organisme dont le métabolisme est déjà modifié — modifié par la suractivation des échanges et des combustions que nécessite la thermogénèse de réchauffement; modifié par la réduction de 30 % de l'apport d'oxygène; modifié par une légère acidose engendrée par le froid et qu'entraîne, à la longue, l'altitude et la fatigue. Aussi, il ne suffit pas que le sujet reçoive des aliments nécessaires à une combustion cellulaire correcte. Il faut encore que ce métabolisme

puisse se faire dans des conditions adéquates et puisse être efficacement utilisé.

Nous avons évoqué *le rôle de facteurs psychiques* défavorables, fréquemment retrouvés en expéditions polaires, du fait de l'éloignement, de l'isolement ou de l'intime promiscuité. L'expérimentation a montré qu'eux aussi participent au déséquilibre métabolique et à la dépolarisation.

Le sommeil, dont nous n'avons rencontré aucun trouble sinon un besoin accru, joue en tant que facteur de repolarisation efficace.

Enfin, nous avons signalé le rôle adjuvant de facteurs physiques tels que :

— *la dépression atmosphérique*, tendant à allonger les chronaxies (Beyne et Chauchard) ;

— *la déplétion hydrique*, responsable de la plus grande part de la perte pondérale et que l'extrême diminution de l'humidité atmosphérique favorise par l'intermédiaire des voies respiratoires. Cette déplétion est un exemple de l'intrication des perturbations entraînées par la vie polaire : la perte hydrique, engendrée par l'altitude, gêne les processus de défense contre le froid (L. Binet).

De ces hypothèses, on retiendra que, s'il n'est pas possible avant la généralisation de bilans humoraux répétés, d'affirmer le mécanisme intime des troubles constatés, il est tout de même frappant de remarquer que toutes jouent dans une même direction à l'échelon cellulaire. C'est en effet l'intensité de l'activité cellulaire, que reflète ces tracés. C'est à l'échelon cellulaire que commence ou finit toute fatigue. A ce niveau, nous avons évoqué l'hypothèse :

— *d'un déficit potassique et magnésien*

- qu'expliqueraient les réactions endocriniennes,
- une insuffisance relative d'apport,
- le catabolisme protidique accéléré,
- et que reflètent nos tracés ;

— *opposé à une rétention sodée*

- favorisée par un apport alimentaire excessif,
- par une perte hydrique, désodée (perspirations),
- par les secrétions corticoïdes.

Le déséquilibre ionique entraînerait une altération du rejet de sodium par la cellule, une pénétration excessive du sodium de celle-ci, une diminution de rentrée du potassium dans la cellule, troubles qui aboutissent, nous l'avons vu, à un ralentissement du métabolisme cellulaire, à une *hypo-excitabilité cellulaire*.

Les conséquences thérapeutiques en sont aisément concevables.

Il est séduisant de penser que la simple adjonction au régime de faibles quantités de potassium, de magnésium (sous forme d'aspartates par exemple), d'acide ascorbique, et de vitamine B6, voire d'un neurostimulant, repolarisant cellulaire, pourrait suffire à rétablir un métabolisme normal, et annulerait la majorité de ces troubles.

2) *Les résultats des tests cliniques* confirment un certain nombre de données classiques concernant les réactions de l'homme au froid et à l'altitude.

Ils confirment l'existence d'une susceptibilité cardiaque accrue à l'effort, se traduisant par une tachycardie fréquente, sans grande modification tensionnelle; l'existence d'une hyperventilation pulmonaire, réactionnelle; une hypersensibilité des centres respiratoires à la $p\text{ CO}_2$;

tous ces phénomènes évoluant vers la régression en l'espace de quelques semaines, manifestations de l'acclimatement. Enfin, *la perte de poids* est la règle. Elle atteint 5 à 10 kg. Elle intéresse sans doute d'une part les mouvements de l'eau du secteur extracellulaire, et, à moindre degré, les catabolismes protidique, glucidique et lipidique.

La récupération du poids initial est en effet rapide (30 à 45 jours selon les sujets).

La synthèse de tous ces résultats nous amène à la constatation suivante :

Chez l'ensemble des sujets, on note un certain désaccord entre les signes cliniques de fatigue, et les signes électriques.

Mais il faut remarquer d'une part que les examens électriques ont été pratiqués 1 et 2 mois plus tard que les tests cliniques, d'autre part que les tests dits de fatigue ne sont qu'un reflet indirect de l'état de fatigue. Enfin, que les signes neuro-électriques précèdent toujours dans le temps les signes cliniques de fatigue.

Les individus que nous avons testés électriquement, se plaignaient en général d'une sensation de fatigue réelle, mais modérée. Non proportionnelle, en tout cas, à l'intensité des troubles neuro-électriques enregistrés.

Parmi les sujets présentant des tracés plus ou moins altérés, il est permis de penser que, placés brusquement dans des conditions de survie dramatique, ce sont ceux dont les courbes étaient les plus altérées qui auraient failli les premiers. Dans ce cas, les courbes d'excitabilité ont une valeur de pronostic intéressante.

Nous ne nous cachons pas que le nombre modéré des tracés recueillis, l'absence de dosages biologiques, et de confrontation ulté-

rieure, donne à cette étude un caractère préliminaire. Son intérêt réside dans le fait qu'elle représente la première étude sur la fatigue effectuée en région polaire, au moyen du rhéotome-électro-nique.

Les perturbations considérables enregistrées, justifient la poursuite de cette étude, en lui donnant une orientation nouvelle. L'analyse des caractéristiques de la fatigue polaire, nous ont permis de formuler un certain nombre d'hypothèses parmi lesquelles, l'hypothèse endocrinienne et métabolique occupe la plus grande place. Mais, l'hypothèse étant « la somme des résultats expérimentaux qu'elle permet de prévoir », il est possible d'assigner une *orientation à des recherches ultérieures plus précises*.

Ce travail devra comporter chez chaque sujet choisi, une étude parallèle de :

1) *L'excitabilité neuro-musculaire*, au rhéotome électronique, portant sur le membre supérieur, et sur le membre inférieur (jambier antérieur et nerf sciatique poplité extérieur).

2) *Des réactions psychologiques permettant :*

— d'apprécier les possibilités d'adaptation du sujet, sa motivation, son futur comportement. D'où l'intérêt des tests, non seulement d'efficiences, mais aussi projectifs;

— d'essayer de cerner les possibilités de conditionnement du sujet, au sens pavlovien du terme.

3) *Un bilan humoral*, comprenant le dosage des ions Na^+ , K^+ , Ca^{++} ; la mesure des pH artériel et veineux; si possible de la p CO_2 ; enfin le dosage des métabolites urinaires des principaux corticoïdes, pratiqués au retour sur des échantillons, conservés à l'aide de techniques appropriées.

Cette triple surveillance gagnera à être renouvelée aux principales étapes caractéristiques de l'expédition.

— *Un mois* environ avant le départ, tant dans des buts de sélection que de référence;

— *A la veille du départ*;

— *Au lendemain de l'arrivée sur le terrain*;

— Puis régulièrement tous les mois, jusqu'à la veille du départ;

— Un dernier contrôle étant pratiqué après le retour en France des sujets.

Ainsi, alors que les nombreux travaux consacrés actuellement à l'étude de la *fatigue* permettent d'entrevoir de plus en plus nettement sa pathogénie et sa thérapeutique, cette étude permettra-t-elle d'élucider les inconnus de cette forme clinique particulière de la fatigue qu'est la fatigue polaire.

Individualisée par ses facteurs étiologiques multiples, par ses répercussions physiologiques particulières, par sa traduction clinique et neuro-électrique propre, sa connaissance concourra à celle de la physiologie humaine dans son ensemble; sa thérapeutique en sera le bénéfice pratique, et permettra au nombre de plus en plus grand d'individus appelés à vivre en région polaire, de bénéficier d'un confort psycho-physiologique indispensable à l'homme contemporain.

BIBLIOGRAPHIE

I. — FROID ET PATHOLOGIE POLAIRE

On trouvera dans : Rivolier — « Aspect médical des Expéditions Françaises à l'Himalaya » — Hermann, Paris, éditeur, une bibliographie de 777 références sur les accidents locaux que nous avons volontairement écartés de notre bibliographie.

Anonyme : Cold in Korea. *Lancet*, 1952, 263 (6727) 233.

BENITTE (A.C.). — Etude sur le comportement des homéothermes et plus spécialement de l'homme vis-à-vis du froid. *Bull. inform. tech. et Sc.*, juillet-octobre 1948.

— La guerre dans les pays froids. *Bull. Union. Fed. Nat. des Médecins de Réserve*, 1952, 48, 125-141.

BARGETON (D.). — L'adaptation au froid. *Arch. Sc. Physiolog.*, 1955, 9, 4.

BINET (L.) et STUMZA (M.V.). — La lutte contre le froid. *Traité de médecine*, 1948, 4, 826-831.

BINET (L.). — Accidents provoqués par le froid. *Traité de physiologie normale et pathologique*, 1929, 8, 687-700.

BROWN (M.). — Progress report on clinical and bio-clinical studies of Eskimo. *D.R.B. rep.*, 40. DR : 41 (Ottawa 1951).

BROWN (G.M.), BIRD (G.S.) et Coll. — L'acclimatation au froid. *Canadian Med. Ass. J.*, 1954, 70, 3, 258-261.

BURTON (A.C.) et EDHOLM (O.G.). — Man in cold environment. *Arnold. Edit.*, Londres, 1955, 273 p.

CARLES (J.). — Rapport médical sur l'hivernage au Groenland 1949-1950. *DOC. EPF*.

CHERRY-GARRARD. — The worst journey in the world. *Chatts and Windus*, ed. London, 1937.

DELCOURT (P.). — Accidents généraux dus au froid. *Thèse*, Toulouse, 1949, n° 58, 80 p.

EISBERG (H.B.) and OWENS (J.E.). — Fundamentals of Arctic and cold weather Medicine and Dentistry. *U.S. Navy Department*, Washington D.C., 1949, project n° 1. 13009.

- ELSNER (R.W.). — Some acclimatizing responses of man to prolonged cold exposure. *Arctic aeromedical labotory*, 1955, project 8-7951 n° 1.
- FILIPPOVICH (S.I.). — *Bull. Biol. Med. Exp. URSS*, 1940, 9, 230.
- FUNCK MELLEB. — La lutte contre le froid par des moyens naturels. *Concours Médical*, 1941, 9, 423-424.
- GIAGIA (J.). — Homéothermie et thermorégulation, 1938, 2 vol.
— Influence du froid sur l'organisme. *Nutrition*, 1938, 8, 147-60.
- GOURDON. — Un hivernage dans l'Antarctique. *Thèse*, Paris, 1913.
- KAYSER (C.) & METZ (B.). — Recherches récentes sur la résistance au froid. *Ministère de la Défense Nationale*, 1950, 2 vol.
- KILLIAN (H.). — Signification de la capsule surrénale dans les dommages causés par le froid. *Zbl. Chir.*, 1943, 70, 2, 50-54.
- KOIRANSEY (B.B.). — La résistance de l'organisme contre le refroidissement. *Clinitchescaüla Med.*, 1953, 31, 9, 30-6.
- LAPRAS (A.). — Rapport médical de l'expédition française au Makalu 1955. Expédition française à l'Himalaya. Hermann, éd. *Actualités Scientifiques et Industrielles*, n° 1266.
- MCCOLLUM (E.L.). — Selection of men best qualified for subarctic and artic duty. *Artic aeromedical laboratory. Ladd air force Base, Alaska*, project n° 21-01-007.
- LOUDOT (J.). — Rapport médico-physiologique de l'expédition française à l'Himalaya 1950. *P.M.*, 1950, n° 58, 1000-2 et n° 65, 1162.
- PIERY (M.). — Traité de climatologie biologique et médicale. Masson, 1934.
- PUGH (G.). — Brit. Himalaya expedition to Cho-Oyu 1952. *En document à la Royal Society*.
- RIVOLIER (J.). — Accidents dus au froid. *E.M.*, C. 6, 1957, 16 508, A 10.
— Sélection, protection et adaptation des sujets ayant à vivre au froid. *Thèse*, Paris, 1953.
— Rapport médical de l'expédition française au Makalu 1954. Expédition française à l'Himalaya. Hermann, éd., *Actualités Scientifiques et Industrielles*, n° 1266.
- SAPIN-JALOUSTRE (J.). — Contribution à l'étude de l'acclimatation de l'homme et des vertébrés supérieurs dans l'Antarctique et plus particulièrement en Terre Adélie. *Thèse*, Paris, 1953, 204 p.
— La pathologie du froid. *Revue Médicale Navale*, 1956, 11 (2), 129-55.
— *Bio-Médicale*, 1955, 1 et 2, 61, 94, 100.
- SAPIN-JALOUSTRE (J. et M.). — Pathologie antarctique. *P.M.*, 1956, 64, n°s 24, 27, 33, 34, 38.
- STEFFANSON. — *Arctic Manual*, 1950.
- SVERDRUP. — 4 ans dans les glaces du Pôle. *Flammarion*.
- THERIEN (M.). — Contribution à la physiologie de l'acclimatation au froid. *Laval. Med.*, 1949, 14, 9, 1132-1257.
- VIGNES (H.). — La lutte contre le froid. *Biol. Med.*, 1941, 31, 1, 2, 1-34.
- La fatigue. — Effets de la chaleur et du froid. *Cours d'Hygiène militaire de l'E.A.S.S.M.*, Val-de-Grâce, 1955.

II. — PATHOLOGIE DE L'ALTITUDE

- BERT (P.). — La pression atmosphérique. *Recherches de Physiologie Expérimentale*. Masson, édit., Paris, 1878.
- BIGET (P.) et RIVOLIER (J.). — Pathologie de l'Altitude. *E.M.L.*, 3-1958. 16506. A 10 (76 références).
- BIGET (P.), OLSEN (O.) et RIVOLIER (J.). — Variation de la sensibilité des centres respiratoires au cours des différentes phases de l'acclimatation à l'altitude. *Presse Médicale*, 1956, 64-67.
- BIGET (P.) et RIVOLIER (J.). — Recherches complémentaires sur l'acclimatement à l'altitude en montagne. *Presse Therm. Climat.*, 1957, 2, 107-108.
- BINET (L.). — Le mal des altitudes. In *Traité de physiol. normal et pathologique*. Masson, édit., Paris, 1934.
- FISCHER (F.). — Les maladies de l'altitude. *Concours Médical*, 1948, 31, 1551-1554.
- GRANDJEAN (E.). — L'adaptation de l'organisme humain à la montagne. *Schw. Med. Wschr.*, 1949, 79, 23, 515-518.
- GRANDPIERRE (R.). — L'adaptation de l'homme à la montagne. *Larousse*, 1956, chap. 5.
- HOUSTON (C.S.) et RILEY (R.L.). — Modifications respiratoires au cours de l'acclimatement à l'altitude. *Am. J. Physiol.*, 1947, 149, 565-588.
- HURTADO (A.). — Mal des montagnes chronique. *Y.A.M.A.*, 1942, 120, 12.
— Aspect physiologique et pathologique de la vie en altitude. *Rimac*, edit., 1937.
- KRUMM-HELLER (H.). — Physiologie en haute montagne. *En document à la Féd. Franç. de la montagne*.
- LE BIDEAU (G.). — Mesure *in vivo* de la graisse corporelle. *O.F.R.A.*, 15-10-1958.
— Le facteur alimentaire dans la pratique de l'Alpinisme. *Thèse*, Paris, 1955.
- MONGE (C.). — Mécanismes adaptatifs biochimiques possibles à la vie en altitude. *Actas, Acad. Ciencias. Esact. Fis. Nat.*, 1939, 2, 11.
— Mal des montagnes chronique. *Physiol. Rev.*, 1943, 23.
— Syndromes biologiques et chimiques produits par les changements d'altitude. *Bul. Schw. Akad. Med. Wissensch.*, 1951, 7, 184.
- NEWMAN. — Skinfold measurment in young american males. *Wayne-university. Press*, 1956, 44-54.
- ORDONEZ (J.). — Biologie de l'altitude. *An. Soc. Biol. Bogota*, 1950, 4, 2, 62-72.
- PIERY (M.), ENSELME (J.) et PESCHIERA (C.). — L'adaptation clinique de l'homme à la dépression atmosphérique. *J. Méd., Lyon*, 1939, 20, 468, 409-419.
- RIVOLIER (J.). — Médecine et Montagne. Masson, édit., Paris, 1956.
— La survie et le secours en montagne. *Concours médical*, 1957, 31, 3543-3552.
- WYSS-DUNANT (E.). — Le poulx dans les hautes montagnes. *Schw. Méd. Wschr.*, 1950, 30,9, 224-227.

WYSS-DUNANT (E.) et GOUNELLE (H.). — Le shock d'acclimatation. Observations à l'Himalaya. *Bull. Soc. Méd. Hôp., Paris*, 1953, 19-20, 576-608.

III. — FROID ET ALIMENTATION

FUCHS (V.E.). — Sledging rations of the Falkland, 1948-50. *Polar Record*, 1952, 6, 44.

GENESSEAUX (P.). — L'alimentation d'une troupe en climat très froid. *Thèse*, Paris, 1956.

JOHNSON (R.E.) et KARK (R.M.). — An analysis of U.S. and Canadian rations trials and surveys. *Harvard fatigue laboratory*, Chicago, 1956, 74.

LATARJET (R.). — Les rations alimentaires des Expéditions Polaires Françaises. *Bulletin du C.N.R.S.*, 1949.

LE BIDEAU (G.). — Le facteur alimentaire dans la pratique de l'alpinisme. *Thèse*, Paris, 1955.

MITCHELL (H.H.) et EDMAN (M.). — Nutrition and resistance to climatic stress with particular reference to man. *Ch. C. Thomas*, Springfield, 1951.

PEDOYA (C.) et GENESSEAUX (P.). — Aspect actuel du problème alimentaire en climat très froid. *An. Nutrit. Alimentation*, 1958, 12, n° 5 (59 références bibliographiques).

RIVOLIER (J.). — Froid et altitude dans leurs rapports avec l'alimentation. *Annales Nutrition et Alimentation*, 1955, 9, n° 3 (145 références bibliographiques).

RANDOIN (L.). — Les rations alimentaires équilibrées. *Librairie Lanou*.

VICTOR (P.-E.). — Note concernant les rations concentrées. *En document aux E.P.F.*

IV. — LA FATIGUE

ALBEAUX-FERNET (M.). — *Presse Médicale*, 1957, 65-4, 61-64.
— *Annales Endocrin.*, 1958.

ALBEAUX-FERNET (M.), BELLOT (L.), BRÉANT (P.), BUGARD (P.), CHABOT (J.), DEUBREUX (J.), GELINET (M.) et ROMANI (J.D.). — *Année Endocrinologique*, 1957, 71-81.

ALBEAUX-FERNET (M.), BUGARD (P.) et ROMANI (J.D.). — *Ann. Endocr.*, 1956, 17, 2, 220-225.
— *Journées Clin. Endocr. Metab.*, 1957, 17, 519-533.

ANSON (M.L.) et MIRSKY (A.E.). — *Journ. Gen. Physiol.*, 1943, 16, 59-63.

ASHER (L.M.). — *Gastro-enterology*, 1955, 136-137.

BABSKIY-GURVICH et ERZMA. — *Dokl. Akad. Nauk. URSS*, 1950, 74, 631.

BALFOUR (D.C.). — *Advanced Int. Med.*, 1954, 6, 13-28.

BOLT (R.J.), POLLARD (H.M.) et CARBALLO (A.). — *Journ. Lab. Clin. Med.*, 1954, 43, 335-339.

BUCHER (G.R.). — *Gastro-enterology*, 1947, 8, 627-647.

- BUGARD (P.), ALBEAUX-FERNET (M.) et ROMANI (J.D.). — Rôle du système endocrinien dans la fatigue. *Bulletin Soc. Med. Milit. Franç.*, 1958, n° 5.
- BUGARD (P.). — *Gaz. Hôp.*, mai 1958.
— *C.R. Soc. Biol.*, 1958.
- BUGARD (P.), ROMANI (J.D.), BLUN (C.) et ALBEAUX-FERNET (M.). — *Annales endocrinologiques*, 15, 5, 672, 683.
- ELMADJIAN (F.), HOPE (J.M.) et LAMSON (E.T.). — *Journ. Clin. Endocr. Metab.*, 1957, 17, 5, 608-620.
- FORTIER (C.). — *Annales de l'A.C.F.A.S.*, 1950, 16, 130-133.
- GROSS (F.). — *Klin. Wochenschrift.*, 1956, 34, 35, 36, 929-941.
- GUILLEMIN (R.). — *Endocrinology*, 1956, 248-255.
- GRAY (S.J.), REDDY (W.J.), HEDBERG (S.E.), ST-MARC (J.), THORN (G.W.), HILL (S.R.), GOETZ (F.C.), FOX (H.M.), MURAWSKY (B.J.), KRATAUER (L.J.), REIFENSTEIN (R.W.). — *AMA. Arch. intern. Med.*, 1956, 269-298.
- HOAGLAND (H.). — *Life Stress and bodily disease*, 1950, 19-21.
- KORAS-MICZBAN et TORN. — *Acta Physiol. Scand.*, 1955, 7, 409-420.
- LABORIT (H.), MOYNIER (R.), NIAUSSAT, GUIOT (G.), WEBER, JANY, BARON. — Etude expérimentale de la fatigue. *Bull. Soc. Med. Milit. France*, 1958, n° 5.
- MIRSKY (I.A.), KAPLAN (S.) et BRON-KAHAN (R.H.). — *A. res. Nerv. and Ment. Dis. Proc.*, 1950, 29, 628-646.
- MULLER (A.F.), RIONDEL (A.M.) et MANNING (E.L.). — *Helvet. Medec. Acta*, 1956, 23, 4, 5, 610-616.
- OLSON (W.H.) et BRIDGEWATER (A.B.). — *JAMA*, 1954, 154, 977-981.
- PINCUS (G.), HOAGLAND (H.), FREEMAN (H.), ELMAJIAN (F.) et ROMANOFF (L.P.). — *Psychosom. med.*, 1953, 61-70, 1431.
- ROMANI (J.D.) et ALBEAUX-FERNET (M.). — *An. Endocr.*, 1956, 17, 6, 789-812.
- ROMANI (J.D.). — *Presse med.*, 1957, 625-627.
— *Presse med.*, 1958, 66-37, 837-838.
- RUBIN (B.), DORFMAN (R.I.) et PINCUS (G.). — Recent progress in hormone. *Res.*, 1954, 9, 5, 213.
- SELYE (H.). — *Acta. Inc. Med.*, Publish. Montreal, 1950.
- TAYEAU (F.). — *Exp. Ann. Bioch. Med.*, 7^e série, 1954. Masson, Paris.
- THIEBAULT (J.). — Essais sur la fatigue du sport et sa thérapeutique. *Bull. Soc. Med. Milit. française*, 1958, n° 5.

V. — FATIGUE ET PSYCHISME

- COIRAULT (R.). — Rôle du psychisme sur la contraction musculaire et son rôle dans la fatigue. *Bulletin de la Société de Médecine Militaire Française*, 1956, n° 5.

VI. — FATIGUE ET EXCITABILITE NEURO-MUSCULAIRE

- ALBEAUX-FERNET (M.), BUGARD (P.) et ROMANI (J.D.). — Excitabilité neuro-musculaire en clinique. *Presse Méd.*, 1957, 65, 4, 61-64.
- BONNARDEL et JAGUES. — Etudes des modifications de l'E. Musculaire sous l'influence de la fatigue. *Le travail humain*, 1948, 11, n° 3 et 4.
- BOURGUIGNON (G.A.). — *Colloque d'Electrophysiologie du C.N.R.S.*, 31 mars-9 avril 1959.
- BEYNE (J.) et CHAUCHARD (P.). — Action de la dépression atmosphérique sur les chronaxies nerveuses de l'homme. *C.R. Soc. Biol.*, 1947, 141, 692.
- CHAILLEY, BERT et PLAS. — *Sem. Hôp. de Paris*, 1956, 32, n° 10.
- CHAUCHARD (P.). — *Presse Méd.*, 1951, 59, n° 62.
- Variations d'excitabilité en dépression atmosphérique chez l'animal. *C.R. Soc. Biol.*, 1948, 42, 7.
- DESALEUX (M.). — Recherches préliminaires sur l'exploration de l'E.N.M. chez l'homme à l'aide d'un rhéotome électronique. *Thèse*, Paris, 1956.
- FAUTREL (M.), GUIGUET (B.) et MAZARAKI (C.). — Efforts et E.N.M. percutanée, *Bull. centre d'études et recherches psychotechniques*, 1955, 4, 2, 153.
- GRANDPIERRE (R.) et LEMAIRE (R.). — *C.R. Soc. Biol.*, 1947, 141, 175.
- GUIOT (G.), MOYNIER (R.) et PLUVEN (J.). — Etude de la fatigue par les mesures de l'excitabilité N.M. *Soc. Méd. et Hygiène du Travail. Arc. des maladies professionnelles*, 1955, 6, 584-588.
- LAPICQUE. — L'excitabilité en fonction du temps. *Presses Universitaires*, Paris, 1926.
- LAPICQUE, NATTAN et LARRIER. — *C.R. Soc., Biol.*, 1926, 90, 808.
- LABORIT (H.), FAVRE, GUITTARD et LABORIT (G.). — Excitabilité neuro-musculaire et équilibre conique K-Ca et optimum thermique de fonctionnement tissulaire. *Presse Méd.*, 1955, 63, 12, 223-227.
- LABORIT (H. et G.). — Contribution à l'étude de l'excitabilité N.M. par rhéotome électronique. *Masson*, 1956.
- LABORIT (H.), COIRAULT (R.) et GUIOT (G.). — Excitabilité neuro-musculaire et signification physiologique et clinique. *Presse Méd.*, 1957, 65, 25, 571-573.
- Excitabilité N.M. et équilibre ionique. *Masson*, éd., Paris, 1955.
- LABADIE. — Le potassium. *Revue du praticien*, 1955, 5, 19.
- MOYNIER (R.), GUIOT (G.) et PLUVEN (J.). — Nouveau procédé de mesure de l'excitabilité N.M. *Applic. à la fatigue. Soc. Méd. Milit. franç.*, 1955, 49, 5, 119.
- MOYNIER (R.), PLUVEN (J.) et GUIOT (G.). — Etude de la fatigue par la mesure de l'E.E.N.M. *Presse Méd.*, 1956, 54, 47, 1083-1086.
- MOYNIER (R.) et Coll. — *Soc. Méd. Milit.*, 2. 1956, 3. 1956, 4. 1956, 7. 1956, 6. 1956.
- MOYNIER (R.). — Colloque sur la physiologie du K. 1954. *C.N.R.S.* 1 vol.
- PLUVEN (J.) et GUIOT (G.). — Le rhéotome électronique. *Press Méd.*, 1955, 8, 151.
- QUEVAUVILLER. — Excitabilité et chronaxie. *Presse Méd.*, 1957, 65, 46, 1069.
- ROMANI (J.D.). — *Semaine des Hôpitaux de Paris*, 1955, 31, 3154.
- THIEBAULT et Coll. — Essais sur la fatigue du sportif et sa thérapeutique (contrôlée au rhéotome électronique). *Soc. de Médecine Militaire Française*, 1958, 5.

SUMMARY

This investigation was conducted in association with the International Glaciological Greenland Expedition, a technical achievement of Expéditions Polaires Françaises.

The investigation was based on the observation of two groups of men. Two methods of observation were resorted to:

1) Clinical observations (pulse at rest, arterial pressure, measurement of pulmonary capacity, of the time lapse of voluntary apnoea, of the body fat index, Schneider, Crampton, Plas tests);

2) Paraclinical observations: through the study of neuro-muscular excitability, by means of the electronic rheotome.

In Part 1 :

- are outlined the technical conditions of the investigation, including ethnological, climatic, meteorological and topographic factors governing the life of the observed individuals;
- the introduction is followed by a description of the techniques used.

Part 2 : is given up to a presentation of the results:

- neuro-muscular excitability curves,
- results of the various clinical tests performed.

Part 3 : begins with an outline of general fundamentals on fatigue.

This theoretical and analytical study attempts a classification of the various clinical and biological aspects of fatigue under:
metabolic, endocrine and neuro-electrical headings.

For the purpose of analyzing the characteristics inherent in the fatigue of individuals living in polar regions, the various factors of aggression, specific of polar life (i.e. cold, altitude, nutrition, physical effort, psychological background), liable to be responsible for the fatigue of man transplanted to polar regions, are received.

Part 4 is concerned with the interpretation of results.

ZUSAMMENFASSUNG

Diese Arbeit wurde im Rahmen der internationalen Eisforschungsreise nach Grönland durchgeführt, als technische Arbeit der französischen Polarforschung.

Zwei Gruppen Menschen wurden beobachtet. Zweierlei Untersuchungsmethoden sind gebraucht worden : 1/ klinische Untersuchungen (Pulsfrequenz im Ruhestand, Blutdruck, Lungenkapazität, Dauer der willkürlichen Apnö, Index des Körperfetts, Schneider-, Crampton-, u. Plasteste); 2/ nebenklinische Untersuchungen (Messung der Erregbarkeit von Nerven u. Muskeln mit Hilfe des Elektronenrheotoms).

Im 1. Teil :

- wurden die Arbeitsbedingungen genau angegeben, darunter nämlich die rassenbedingten, klimatischen, meteorologischen u. topographischen Faktoren, welche das Leben der beobachteten Menschen beeinflussen.
- auf diese Einleitung folgt die Aufzeichnung der gebrauchten technischen Methoden.

Der 2. Teil : enthält die Ergebnisse :

- Kurven der Erregbarkeit von Nerven u. Muskeln.
- Ergebnisse der verschiedenen durchgeführten klinischen Untersuchungen.

Im 3. Teil : werden zuerst die wichtigsten Allgemeinbetrachtungen über die Müdigkeit angegeben; diese Arbeit strebt danach die verschiedenen klinischen u. biologischen Erscheinungen der Müdigkeit in Gruppen aufzuteilen :

Erscheinungen die im Stoffwechsel eintreten,

Erscheinungen die mit den innersekretorischen Drüsen zusammenhängen.

Erscheinungen auf der Erregbarkeitskurve der Nerven.

Um die der Müdigkeit der in Polargegenden lebenden Menschen eigenen Kennzeichen zu studieren, werden die verschiedenen Stressfaktoren, welche zum Leben in den Polargegenden gehören (Kälte, Höhe, Ernährung, körperliche Anstrengung, psychische Bedingungen), u. welche zur Müdigkeit des in Polargegenden verpflanzten Menschen beitragen können, nacheinander untersucht.

Im 4. Teil wird zu den Ergebnissen Stellung genommen.

ILLUSTRATIONS

Pages

FIG. 1. : Carte de la zone d'opération de l'Expédition Glaciologique Internationale au Groenland	9
FIG. 2 : Tableau chronologique des divers tests et examens	12
FIG. 3 : (courbes 1 à 27) : Courbes d'excitabilité neuro-musculaire	24-38
FIG. 4 : (courbes 1 à 8) : Pouls au repos	40-43
FIG. 5 : Courbe du sujet normal	71
FIG. 6 : Courbe du sujet fatigué	71

PLANCHES DE PHOTOGRAPHIES (hors texte)	V
--	---

I : Le convoi sur le chemin de l'Indlandsis.

II : Mesure de l'excitabilité neuro-musculaire.

Vu et permis d'imprimer,
Le Recteur de l'Académie de Paris :
J. SARRAILH.

Vu,
Le Doyen de la Faculté,
L. BINET.

Vu,
Le Président de la thèse,
L. BINET.

TABLE DES MATIERES

INTRODUCTION	1
PREMIÈRE PARTIE : TECHNIQUE	5
I. Conditions générales de travail	7
II. Les techniques	11
DEUXIÈME PARTIE : LES RÉSULTATS	23
I. Courbes d'excitabilité neuro-musculaire	24
II. Mesures et tests cliniques	39
TROISIÈME PARTIE : ESSAI D'INTERPRÉTATION	53
I. Rappel théorique	55
II. Un test pratique de l'étude de la fatigue	67
III. Particularités de la fatigue en régions polaires	74
QUATRIÈME PARTIE : DISCUSSION DES RÉSULTATS	103
I. Courbes d'excitabilité	105
II. Résultats des mesures cliniques	119
CONCLUSION	125
BIBLIOGRAPHIE	133
SUMMARY	139
ZUSAMMENFASSUNG	140
ILLUSTRATIONS	141

Imprimerie Vieillemard, 16, rue de la Glacière, Paris-13° - N° 7065.
Dépôt légal : 1^{er} trimestre 1961.

